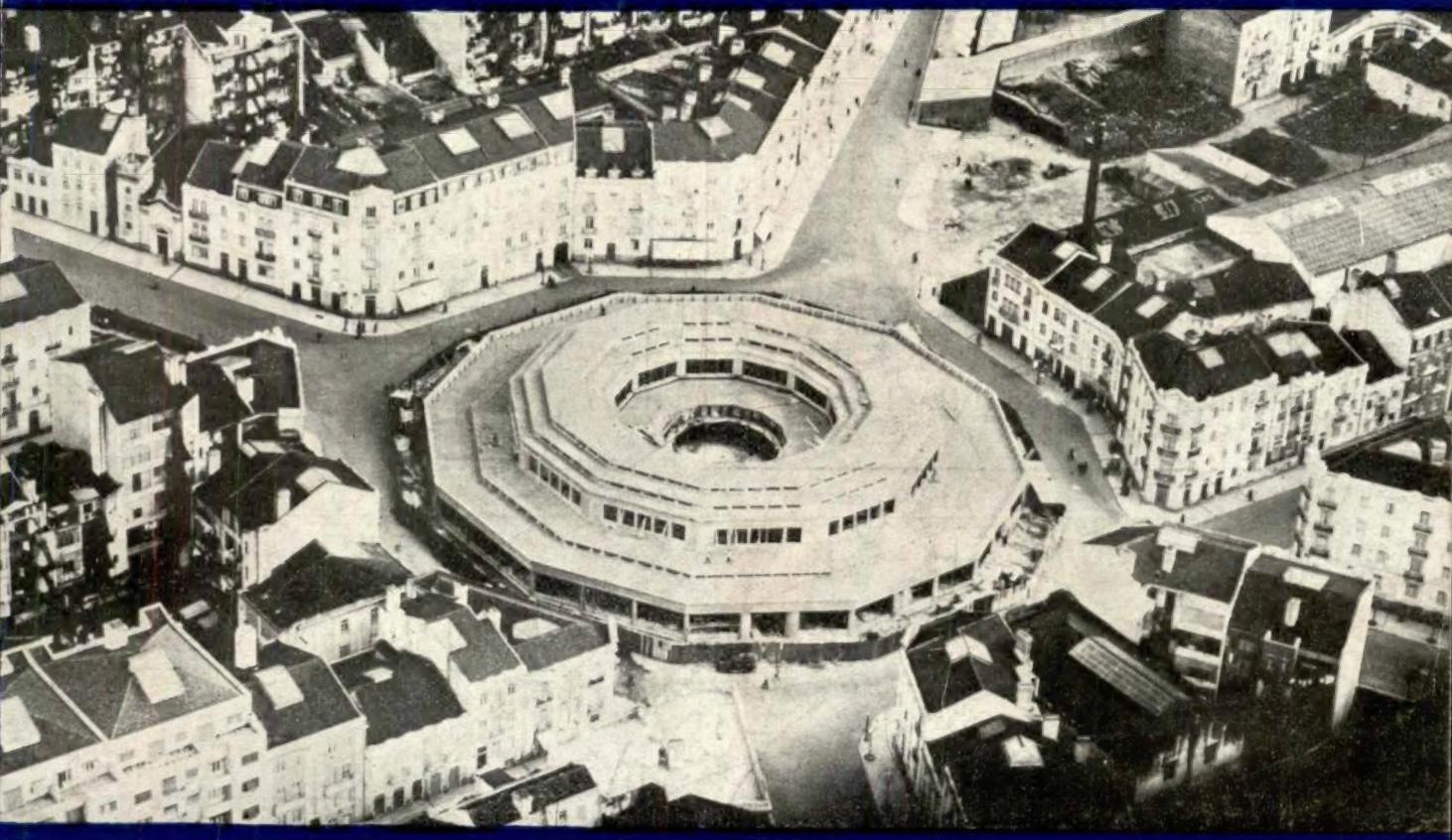
TÉCNICA



REVISTA DE ENGENHARIA
DOS ALUNOS DO I.S.T.

N.º 124-Dezembro-1941

Granulados de mármores

para exportação e para o país

Mosaicos de granulados de mármore

OS MAIS BONITOS
OS MAIS RESISTENTES
OS MAIS VANTAJOSOS

Soc. Portuguesa CADAN

Rua D. Estefania, 42

Telefone 47812 — Lisboa

FILIAL NO PÔRTO:

PRAÇA DA BATALHA, 90, 2.º

CIMENTO

SECIL

Fabricado pelos mais modernos processos e preferido para todos os trabalhos de responsabilidade.
Sacos de papel ou de juta com 50 Kg.
Barricas de 180 Kg.

SECIL

COMPANHIA GERAL DE CAL E CIMENTO
RUA DO COMERCIO, 56, 3.º
LISBOA

Cimento «Liz» hidrofugado «N»

PRÓPRIO PARA

IMPERMEABILIZAÇÃO DE OBRAS

REBOCOS, FUNDAÇÕES, PAREDES, ETC.

Substitue com vantagem de ordem técnica e económica todos os impermeabilizadores conhecidos.

Em sacos de papel de 50 quilos

Peçam instruções para o seu emprêgo

Sede: Rua do Cais de Santarém, 64, 1.º — LISBOA
Filial: Rua de Santo António, 190-A, 1.º — PORTO

Agentes em todo o País

NÚMERO
124
Dezembro — 1941

TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA
DOS
ALUNOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Redacção e Administração: AV. ROVISCO PAIS, IST / LISBOA-N. / TEL. 49144 (linha 50)

DIRECTOR
NUNO ABRANTES
ADMINISTRADOR
LUIZ DE ALMEIDA ALVES
BIBLIOTECÁRIO
JOSÉ DE LUCENA
CORPO REDACTORIAL
Fernando Monjardino
Francisco de Almeida e Castro
José Passos Coelho
Fernando Moitinho de Almeida

NÚMERO AVULSO 5$00
ASSINATURAS:

	3 N.os	6 N.os	12 N.os
Continente e Ilhas	13$50	26$00	50$00
Colónias Portuguesas e Espanha...	—	35$00	60$00
Estrangeiro...	—	40$00	70$00

EDITOR E PROPRIETÁRIO
ASS. DOS ALUNOS DO I. S. T.

COMPOSTO E IMPRESSO
NAS
OFICINAS FERNANDES
RUA CRUZ DOS POIAIS, 103
LISBOA

SUMÁRIO

Capa — Novo Mercado de Arroios

		Págs.
Generalização do teorema de mínimo da electrocinética	Prof. António da Silveira	571
Origem química e biológica da alteração das conservas de peixe	Prof. Charles Lepierre	574
Laboratório de hidráulica	Eng.º Alberto Abecasis Manzanares	576
A investigação Experimental Científica	Eng.º Edgar Cardoso	584
O cálculo do betão armado aplicado aos edifícios	Eng.º J. de Cang	591
A Auto-propulsão por hélices	Tomaz da Costa Roque	614
Mundo Técnico		623
Notas Bibliográficas		624
Publicações recebidas		624

ANTÓNIO VEIGA

Construtor Civil diplomado pelo Instituto Industrial de Lisboa

Escritório — Praça dos Restauradores, 13, 3.º

TELEFONE 2 7845

TRABALHOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL, HIDRÁULICOS E DE BETÃO ARMADO

Adjudicatário das empreitadas da construção das fundações do Mercado de Arroios, construção da passagem superior da rua do Arco de Carvalhão, dos arruamentos de acesso à Auto-Estrada e dos arruamentos de acesso ao Novo Matadouro, etc.

A instalação eléctrica e canalizações do Novo Mercado de Arroios

foram executadas por

HONORATO HENRIQUES, L.DA

ESCRITÓRIO E OFICINAS:

RUA DR. ALEXANDRE BRAGA, 33-35

SUCURSAL:

AV. DUQUE D'AVILA, 40-C — 40-D

Telefone 45777 LISBOA

EMULSÕES

de asfalto para estradas

Todos os tipos e percentagens

TELEFONE 2 0879

Telegramas: Epalda — LISBOA

FÁBRICA EM SACAVÉM

A CONSTRUÇÃO DO

MERCADO DE ARROIOS

NO BAIRRO DOS ACTORES

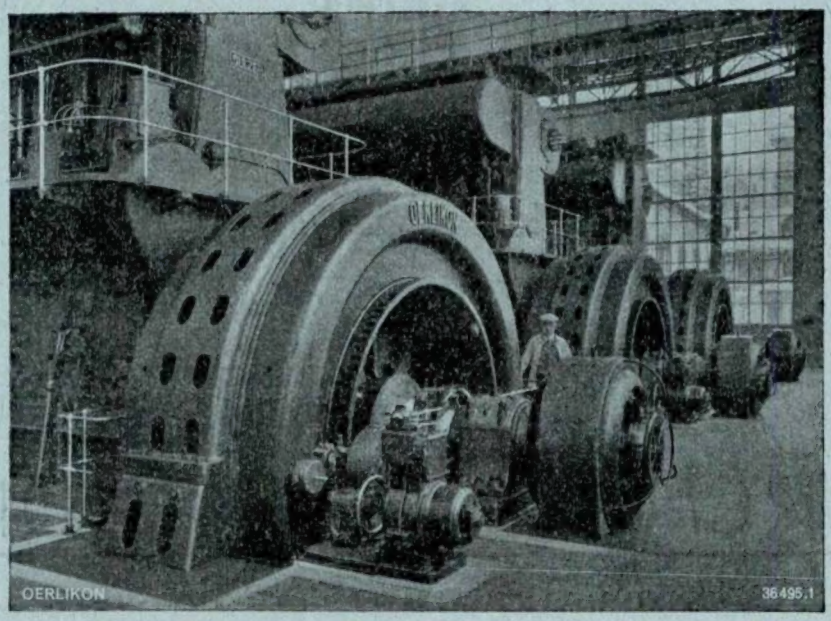
Foi realizada pela

Sociedade de Construções Amadeu Gaudêncio

ESCRITÓRIO E OFICINAS: RUA DR. ALEXANDRE BRAGA, 55 — LISBOA — TELEFONE 43191

DIRECÇÃO TÉCNICA DE
ENG. LUIZ FARIA E MAIA
E CONSTRUTORES:
AMADEU GAUDÊNCIO E
HENRIQUE A. GASPAR

OERLIKON



Central de Kubel, Saint-Gall (Suíça), equipada com três grupos Diesel-alternadores, 3 × 6250 kVA, 10700 Volts, 187 r. p. m.

PRODUTOS OERLIKON

Equipamentos eléctricos para centrais termo e hidro-eléctricas, subestações e instalações de distribuïção. Geradores e motores eléctricos de todos os tipos, transformadores, reguladores de indução, grupos convertidores, mutadores, turbinas a vapor e turbo geradores, gruas eléctricas, interruptores e aparelhos de manobra para alta e baixa tensão, aparelhos de protecção e relais de todos os tipos, equipamentos para soldadura eléctrica por arco, compressores e bombas de vácuo, electrolisadores, equipamentos eléctricos para locomotivas, automotoras eléctricas e diesel-eléctricas (via estreita e normal), tramwais, troley-buses, funiculares, teleféricos, etc.

Representante Geral para Portugal e Colónias

P. BELLASI

Pôrto // Rua Sá da Bandeira, 494, 3.º // Telefone 968

ATELIERS DE CONSTRUCTION OERLIKON
ZURICH-OERLIKON (SUIÇA)

TÉCNICA

NUNO ABRANTES
DIRECTOR

ANO XVII - N.º 124 DEZEMBRO 1941

GENERALIZAÇÃO DO TEOREMA DE MÍNIMO DA ELECTROCINÉTICA

PELO PROFESSOR ANTÓNIO DA SILVEIRA

Demonstra-se habitualmente nos tratados de Electricidade (1) *o seguinte teorema: Num condutor homogéneo, isótropo e a temperatura constante, a taxa de produção de calor por efeito de Joule é mínima quando a distribuïção das correntes é regida pela lei de Ohm. O autor mostra aqui sob que forma o teorema pode ser estendido ao caso em que há fôrças electromotrizes sôbre superfícies ou distribuídas contìnuamente em volume.*

Consideremos uma cadeia de condutores isótropos mas heterogéneos (heterogeneidade material ou criada por um gradiante finito de temperatura) percorrida por uma corrente eléctrica estacionária. Sejam $\mathsf{E}^{(a)}(x, y, z)$ o campo aplicado, $\mathsf{E}^{(e)}(x, y, z)$ o campo eléctrico e J a densidade de corrente num ponto (x, y, z) da cadeia.

A lei de Ohm fornece a relação

$$\frac{\mathsf{J}}{\sigma} = \mathsf{E}^{(a)} + \mathsf{E}^{(e)}, \tag{1}$$

onde $\sigma(x, y, z)$ representa a condutividade eléctrica em (x, y, z).

Em todo o ponto do interior dum condutor verifica-se a condição solenoidal

$$div\ \mathsf{J} = 0. \tag{2}$$

Em todo o ponto da superfície de separação S dum condutor e do dieléctrico exterior, suposto perfeitamente isolante, tem-se

$$\mathsf{J}_{n_i} = 0, \tag{3}$$

onde n_i designa a semi-normal a S dirigida para o interior do condutor; e em todo o ponto da superfície de separação Σ de dois condutores α e β tem-se

$$(\mathsf{J}_\beta)_\nu - (\mathsf{J}_\alpha)_\nu = 0, \tag{4}$$

onde ν designa a semi-normal a Σ dirigida para o interior do condutor β (J dirigido de α para β).

Consideremos a função

$$\frac{1}{2}\Phi - \Psi = \frac{1}{2}\int \frac{\mathbf{J}^2}{\sigma}\, dv - \int (\mathbf{J}, \mathbf{E}^{(a)})\, dv \tag{5}$$

onde v designa o volume ocupado pelas correntes.

Nesta função (5) Φ representa a quantidade de calor de Joule desenvolvida na unidade de tempo e $-\Psi$ representa o trabalho efectuado contra os campos aplicados (energia química, efeito de Peltier, efeito de Thamson) durante o mesmo tempo em tôda a cadeia.

Teorema — *A densidade de corrente* J *distribue-se por si própria na cadeia de tal modo que a função* (5) *é mínima quando se verificam as relações suplementares:*

1.ª) $\quad rot\ \mathbf{E}^{(e)} = 0 \quad$ ou $\mathbf{E}^{(e)} = -\,grad\ V \quad$ em todo o ponto (x, y, z), (6)

2.ª) $\quad V \quad$ continua sôbre S, (7)

3.ª) $$V_\beta - V_\alpha = \int_\alpha^\beta (\mathbf{E}^{(a)}, d\mathbf{s}) = \int_\beta^\alpha (\mathbf{E}^{(e)}, d\mathbf{s}), \tag{8}$$

e reciprocamente. Nestas fórmulas $V(x, y, z)$ designa a função potencial da electricidade e $d\mathbf{s}$ o vector elementar das linhas de corrente.

Demonstração — Consideremos uma outra distribuïção de correntes $(\mathbf{J} + \partial\mathbf{J})$ satisfazendo às condições (*1*), (*2*), (*3*) e (*4*). Temos

$$div\ (\partial\mathbf{J}) = 0 \quad \text{em todo o ponto } (x, y, z), \tag{9}$$

$$(\partial\mathbf{J})_{n_i} = 0 \quad \text{sôbre } S, \tag{10}$$

$$\left.\begin{aligned} &(\partial\mathbf{J}_\beta)_\nu - (\partial\mathbf{J}_\alpha)_\nu = 0, && (11)\\ &\int_\Sigma (\partial\mathbf{J})_\nu\, d\Sigma = 0. && (12)\end{aligned}\right\} \text{ sôbre } \Sigma$$

A variação da função (*5*) é

$$\frac{1}{2}\,\partial\Phi - \partial\Psi = \frac{1}{2}\int_v \frac{(\partial\mathbf{J})^2 + (\mathbf{J}, \partial\mathbf{J})}{\sigma}\, dv - \int_v (\partial\mathbf{J}, \mathbf{E}^{(a)})\, dv \tag{13}$$

ou, em virtude de (1).

$$= \frac{1}{2}\int_v \frac{(\partial\mathbf{J})^2}{\sigma}\, dv - \int_v (\partial\mathbf{J}, \mathbf{E}^{(e)})\, dv \tag{14}$$

Ora, em virtude de (6)

$$-\int_v (\partial\mathbf{J}, \mathbf{E}^{(e)})\, dv = \int_v (\partial\mathbf{J}, grad\ V)\, dv = \int_v div\ (V\,\partial\mathbf{J})\, dv - \int V\, div\ (\partial\mathbf{J})\, dv \tag{15}$$

O último integral de (*15*) é nulo em virtude de (*9*). O penúltimo integral de (*15*) dá para a superfície S:

$$\int_v div\ (V\,\partial\mathbf{J})\, dv = \int_S V\,(\partial\mathbf{J})_n\, dS,$$

que é nulo em virtude de (*10*); e dá para a superfície Σ em virtude de (*11*):

$$\int_{\Sigma} [V_\beta \, (\partial \mathbf{J}_\beta)_\nu - V_\alpha \, (\partial \mathbf{J}_\alpha)_\nu \,] \, d\Sigma = (V_\beta - V_\alpha) \int_{\Sigma} (\partial \mathbf{J}_\beta)_\nu \, d\Sigma,$$

que é também nulo em virtude de (*12*).

Resta em (13) o integral

$$\frac{1}{2} \int \frac{(\partial \mathbf{J})^2}{\sigma} \, dv,$$

que é uma quantidade essencialmente positiva, pois $(\partial \mathbf{J})^2 > 0$.

A função (*5*) é portanto mínima quando os $\partial \mathbf{J}$ são nulos, c. q. d.

Para demonstrar a recíproca recorre-se ao cálculo das variações. Considerando primeiro uma função $\lambda(x, y, z)$ e aplicando um método clássico obtém-se $\mathbf{E}^{(e)} = - Grad \lambda$, que é a condição (*6*) com $\lambda = V$; etc.

Que o leitor tente aplicar êste teorema ao problema do cabo telegráfico imperfeitamente isolado, por exemplo. Verá, em comparação com o método habitual de tratar o problema, com que facilidade e elegância se obtém a lei de variação da corrente, e mesmo as expressões das condições aos limites.

---

(1) V. Jeans — *The Theory of Electricity and Magnetism*, 5th edition, p. 348; ou Smythe — *Static and Dynamical Electricity* (1940), p. 228.

(2) V. Abraham und Becker — *Theorie der Elektrizität.*

(3) Admitimos que sôbre S não há duplas-camadas de electricidade.

Origem química e biológica da alteração das conservas de peixe

PELO PROF. CHARLES LEPIERRE

Em Abril do corrente ano chamei a atenção da Academia sôbre as alterações de ordem química que o peixe podia apresentar com o tempo, quando exposto à contaminação do ambiente. Fixámos, com a Sr.ª D. Elvira Castro Rodrigues, os limites em que o peixe deixa de ser aproveitável para a indústria conserveira. A conservação dos alimentos animais pode efectuar-se por vários processos: —*fumagem* (alguns dos gases e vapores das combustões incompletas da madeira têm propriedades antissépticas); *salga* (o cloreto de sódio actua como ligeiro antisséptico e como deshidratante, o que torna o meio menos propício à vida microbiana); por *dissecação* (a água é indispensável à vida bacteriana); pelo *frio* (o frio não esteriliza o meio, mas, impede o desenvolvimento microbiano, ficando os micróbios num estado de vida latente).

Finalmente a conservação pode realizar-se pelo *calor:* é êste o processso que mais interessa à indústria conserveira portuguesa. Partindo de peixe, o mais fresco possível, e aplicando os preceitos normais, acabando por esterilização adequada, obtém-se uma conserva que deve, sem se alterar, resistir à acção do tempo.

Contudo devido a várias causas: peixe atrazado, esterilização insuficiente, fôlha estanhada de má qualidade, etc., observam-se, de vez em quando, latas que pela produção interna de gases, aumentam de volume, tornando-se *opadas* ou *bombeadas*.

A opação corresponde a duas ordens de fenómenos completamente diferentes que levam a considerar dois tipos:

1) Opação de origem química
2) Opação de origem biológica

1 — A opação de *origem química* é muito rara na indústria das conservas de peixe, e, só se manifesta muito lentamente, e às vezes já passados alguns anos após o fabrico. Pelo contrário, a opação química é mais vulgar nas conservas de frutos ou legumes onde se pode manifestar passadas poucas semanas.

Tive ocasião de examinar latas armazenadas, cujo lote observado freqüentes vezes, começou a opar passados 6 ou 7 anos, estando o lote, a bem dizer, hoje todo opado. Eis o que observei:

As características dêste tipo de opação são diferentes das da opação biológica: Cheiro da conserva normal, não pútrido; sabor, quási normal mas metálico. Os gases recolhidos debaixo de água são ricos em hidrogénio. As culturas microbianas em meios aeróbios e anaeróbios são *negativas*.

O mesmo resultado negativo pelo exame bacteriológico directo. Conservadas as latas em estufa a 37°, durante dias, não se alteram mais, mantendo-se estéril o seu conteudo. Resumindo: a conserva era estéril. A concentração hidrogeniónica (P_H) era de 6,0, isto é, revela uma ligeira acidez iónica. As latas apresentavam-se interiormente muito corroídas, pretas, o que prova que a camada protectora de estanho não resistiu à acção agressiva do peixe e do óleo, ficando o ferro à vista.

Concluímos que se trata duma alteração da conserva, de ordem química; a formação de gases contendo hidrogénio resulta do ataque da lata devido à ligeira acidez do meio (peixe e óleo).

O estanho da fôlha não é atacado pelos ácidos muito fracos ($P_H = 6,0$) mas o ferro subjacente é atacado porque, como é sabido, mesmo nas fôlhas de melhor qualidade o estanho não cobre integralmente o ferro, ficando em muitos pontos êste à vista (o que se prova

pela acção do ferrocianeto de potássio, por exemplo, que revela falta de continuïdade na camada de estanho, pelo aparecimento de minúsculos pontos em que o ferro se manifesta). Com a acção lenta do tempo — alguns anos — esta fraca acidez do meio manifesta-se produzindo hidrogénio à custa do ferro, não sendo a isto estranho fenómenos de electrólise (Sn + Fe).

2 — A opação de origem biológica, isto é, microbiana, resulta de fenómenos completamente diferentes manifestando-se doutra maneira: É essencialmente causada por esterilização imperfeita. A conserva apresenta-se opada, libertando-se hidrogénio, anidrido carbónico e gás sulfídrico. É o resultado da vida anaeróbia de bactérias, em regra esporuladas, muito resistentes à temperatura de esterilização corrente (110° durante meia hora, em média). Êsses esporos devido às mudanças da temperatura ambiente podem desenvolver-se produzindo bactérias cuja acção fermentativa se traduz pela formação de gases, alguns de cheiro desagradável — facto que se verifica ao abrir as latas —. Nessas conservas, o exame microscópico directo e as culturas em meio anaeróbio revelam a presença de bacilos, esporulados ou não e de cocos. A conserva adquire, então, cheiro e sabor pútrido. Apresenta uma reacção neutra ($P_H = 7{,}0$) ou levemente alcalina (presença de amoníaco). [1]

Vê-se bem as diferenças nítidas que distinguem a conserva opada por via química, da conserva opada por via microbiana.

Finalmente, é preciso frisar que, em ambos os casos, as ditas conservas são impróprias para o consumo e não são susceptíveis de beneficiação. As primeiras, (opação química) pelo seu sabor metálico desagradável; as segundas, mesmo depois duma nova esterilização não poderiam ser utilizadas porque, ainda que os germes vivos morressem, o calor não destruïria as toxinas que estes sêres podem produzir—toxinas quiçá prejudiciais ao homem.

Insistimos, para acabar, no seguinte: a opação de origem química é raríssima nas conservas de peixe comparada com a opação de origem microbiana. A primeira não revela defeitos de fabricação, o que não se dá com a segunda, que é quási sempre conseqüência duma imperfeita esterilização e que, portanto, pode ser fàcilmente evitada.

(Laboratório do Instituto Português de Conservas de Peixe)

---

[1] Presença também de compostos gasosos do Enxôfre e do Fósforo.

LABORATÓRIO DE HIDRÁULICA

(Extractos dum relatório)

PELO ENG.º CIVIL (I. S. T.) ALBERTO **ABECASIS MANZANARES**

Publicam-se extractos dum relatório apresentado pelo autor e referente a Laboratórios de Hidráulica visitados e a necessidade de instalação dum estabelecimento congénere no nosso país. Tal relatório foi concluído no outono de 1940 e nessa altura ainda era um sonho pensar-se que em Portugal se pudesse instalar ràpidamente tal laboratório. Hoje em dia, graças à nítida visão da importância técnica e didática do assunto e a nunca desmentida iniciativa de S. Ex.ª o Ministro das Obras Públicas e Comunicações, aquilo que era uma hipótese mais ou menos distante, vai brevemente transformar-se em realidade.

Um laboratório de hidráulica pode e deve ter três fins diversos mas interligados entre si: fins didáticos, científicos e industriais.

É necessário fazer um grande número de experiências para introduzir no espírito do aluno uma ideia clara sôbre os diferentes fenómenos hidráulicos; em todos os ramos de hidráulica a experiência é um grande auxiliar e existem certos fenómenos, como o ressalto e o golpe de ariete que só as demonstrações de laboratório podem esclarecer. Simultâneamente com os fins didáticos existem os fins científicos, e é à investigação laboratorial e à grande difusão dêste género de estabelecimentos, que se deve na sua maior parte o avanço rápido que esta ciência tem tido nos nossos dias. No campo das aplicações práticas, por outra parte, não seria hoje em dia económico projectar nenhuma obra hidráulica sem o auxílio do laboratório, onde se podem confrontar prática e eficientemente as diversas soluções possíveis e estudar a maneira mais económica de fazer a obra; existem ainda um certo número de obras, como certos aspectos do problema da regularização fluvial, entre outras, que só no âmbito do laboratório podem ser resolvidos com segurança e economia muitas vezes de muitos milhares de contos. Isto justifica o terceiro fim de um laboratório, o fim prático ou industrial. Mais adiante veremos a relação e necessária interligação de todos estes objectivos.

Esquemàticamente o esqueleto de um laboratório é constituído por um circuito fechado, no qual circula a água destinada às experiências. Êste circuito fechado é constiuído por um reservatório profundo no qual chupam uma ou mais bombas, que impulsionam a água para um ou mais reservatórios elevados, providos de disposições especiais para manter rigorosamente constante o nível da superfície livre para qualquer caudal; a seguir a estes reservatórios pode em certos casos estar instalada a medição e determinação dos caudais que em outros casos pode ser efectuada directamente a montante ou jusante do modêlo. Do reservatório elevado saem, em todo o caso, uma ou mais condutas omnibus ou mestras, providas de várias tomas ao longo do laboratório para poderem ser ligadas a um ou mais modelos; a água a seguir passa pelos modelos e à saída dêstes cai num canal, denominado canal de retôrno ou regresso, que a conduz de novo ao reservatório enterrado. Êste canal de regresso pode servir nalguns casos para aferição de

molinetes, e noutros, esta, se existir, encontra-se instalada separadamente.

Elemento indispensável de um laboratório é também o reservatório de aferição, e complementar o canal de vidro de inclinação graduável.

É evidente que êste esquema permite muitas modificações e é a vantagem ou inconveniente de cada uma das soluções observadas e a enunciação de uma solução, lógica no meu entender, que constitue o objecto dêste relatório.

.....

Antes de mais nada devemos estudar atentamente quais os fins que um tal laboratório deve perseguir. Deverá, por acaso, ser meramente didático, ou científico, ou ainda destinado a fins comerciais? Como se poderão considerar os seus diversos objectivos? Qual a melhor maneira de promover um eficiente funcionamento?

Devo dizer para começar, que sou de opinião que é necessário encarar a parte didática com muito maior atenção e importância do que aquela que se dá ao mesmo ramo dos laboratórios estrangeiros.

A formação hidráulica de um engenheiro actual para ser perfeita, deve coordenar de uma forma eficiente e completa a parte teórica e de exercícios com a parte pròpriamente prática: laboratorial e de campo, isto é, observação de obras efectuadas. No nosso país são ainda pouco numerosas as obras que mereçam especial atenção sob o ponto de vista didático e essa falha é mais uma que o laboratório deverá preencher.

A formação hidráulica que o laboratório deverá fornecer ao engenheiro podêmo-la dividir em três partes. A primeira constará de um atento e cuidadoso acompanhamento da cadeira de hidráulica geral e máquinas hidráulicas, por uma série de experiências e ensaios de laboratório que habituem os alunos ao contacto directo com todos os fenómenos ensinados na aula teórica e aplicados a problemas. Só com a visão directa dêstes ensaios e fenómenos e com a manipulação dos mesmos é que a ideia formada no intelecto do aluno poderá ser completa e lhe dará aquela espécie de intuïção hidráulica que, mais ou menos desenvolvida, creio necessária em todo o indivíduo que se dedique a engenharia e em especial à hidráulica. No anexo I fizemos um quadro aproximado das experiências a efectuar e que nos poderá fornecer ideia do material para isso necessário.

O segundo contacto do aluno com o laboratório, deverá dar-se na Hidráulica Aplicada na qual o aluno deverá freqüentar o laboratório trabalhando e assistindo aos trabalhos que no mesmo se estiverem a efectuar com fins técnicos. Tomará assim o aluno contacto com as diversas obras técnicas que lhe ensinam na teoria e ainda mais, como os ensaios são destinados, em geral, a melhorar as condições do projecto e execução das mesmas obras, frisando e fazendo notar e desaparecer os defeitos que nelas possa haver, o aluno terá assim uma maneira simples e fácil de formar o seu espírito crítico no ramo que nos interessa, e ter uma ideia mais exacta do verdadeiro valor de algumas conclusões teóricas que tenha podido tirar.

Ainda poderá ter o aluno um terceiro contacto com o laboratório, êste voluntário, e que consistirá na preparação duma tese especial técnica ou de investigação científica formando parte do curso de especialização a que já nos referimos na segunda parte dêste relatório. [1] Êste terceiro contacto, voluntário como já dissemos, constituïrá uma verdadeira especialização ou aperfeiçoamento.

Em relação ao esquema apresentado, devemos fazer notar que é susceptível de modificações que a prática imporá e que depende em

---

Os laboratórios visitados encontram-se descritos:

Girolamo Ippolito. «Il laboratorio di Costruzioni Idrauliche nella Facoltà di Ingegneria della R. Università di Napoli» «1.º Volume degli atti della Fondazione Politecnica per il Mezzogiorno D'Italia».

Ettore Scimemi. «Il laboratorio di Idraulica nel R. Istituto Superiore di Ingegneria di Padova e le sue richerche» fasciculo XI — Volume XII — Septembro 1935 da revista «L'Energia Elettrica».

E. Meyer-Peter «Le laboratoire de recherches hydrauliques annexé à l'École polytechnique federale de Zurich», Separata do «Genie Civil» de 13 de Setembro de 1930.

[1] V. «Algumas considerações sôbre a moderna orientação do ensino de Hidráulica». «Técnica» — Janeiro — 1941.

grande parte, em relação ao seu menor ou maior desenvolvimento dos meios e possibilidades de que disponha o laboratório, quer em pessoal, quer em aparelhagem. Com três aulas práticas semanais, dedicando a metade ao laboratório e a outra metade aos exercícios de problemas haveria o tempo necessário para ver todo o programa.

É necessário ter em conta, por outra parte, que o nosso país está a entrar, no campo da hidráulica, num ritmo amplo de realizações e que tôdas elas exigem, em benefício da economia, da técnica e da perfeição, um elevado número de ensaios laboratoriais, que hoje em dia se restringem ao mínimo possível por causa da sua excessiva carestia em laboratórios estrangeiros. Com o custo de 2 ou 3 ensaios mandados fazer a qualquer laboratório estrangeiro, ter-se-ia o dinheiro suficiente para a instalação de um laboratório nacional capaz de fazer os mesmos ensaios e no qual o custo respectivo seria reduzido a uma pequena quantia

Além da necessidade para a economia e a técnica Nacional da existência de um laboratório, capaz de efectuar tôda a espécie de ensaios técnicos, estes se justificam pela vantagem que proporcionam ao ensino, pondo o aluno em contacto directo com os diversos problemas que mais tarde lhe hão-de aparecer na vida prática. Não há nenhum campo da técnica, em que seja possível pôr tão intimamente o aluno em contacto com a técnica, e tudo em virtude da existência de um laboratório.

E não é necessário para tanto o dispêndio de uma quantia excessiva, chegando ao exagêro que representa, por exemplo, o laboratório de Zurich. Com uma quantia relativamente moderada é possível fazer um laboratório capaz de efectuar qualquer género de ensaios.

Ainda sob o ponto técnico, torna-se indispensável a existência no nosso país de uma instalação de aferição dos diversos instrumentos hidrométricos, em especial, de um canal para aferição de molinetes. Efectivamente, todos os molinetes utilizados nos serviços oficiais e particulares têm a única aferição de saída da fábrica, mesmo depois de um longo uso e de avarias e reparações diversas; nessas condições os valores fornecidos por êsses molinetes, podem vir eivados de um êrro bastante apreciável e não indiferente.

Resta ainda falar de uma característica especial, talvez a mais importante no funcionamento de um laboratório, trata-se da investigação científica. Todos sabem a extraordinária contribuïção fornecida ao avanço da hidráulica pelo funcionamento e investigações levadas a cabo em laboratórios estrangeiros, progressos manifestados por tôdas as comunicações e colaborações em Congressos Internacionais e publicação de resultados obtidos. Não há quási país nenhum que não tenha dado a sua contribuïção neste campo e Portugal, que não é inferior aos outros, têm até agora recusado ligar o seu nome às páginas de progresso da ciência hidráulica. É já tempo que semelhante esquecimento seja posto de parte e o seu nome figure entre os daqueles que fornecem uma apreciável contribuïção ao avanço da técnica neste ramo.

Não é necessário apetrechar especialmente o laboratório para a investigação científica, porque dentro do esquema geral cabe sempre possibilidade de efectuar qualquer investigação, a não ser de tipo muito especial, tomando em cada caso as disposições particulares que o problema exija.

.....

O primeiro factor a ter em conta ao projectar um laboratório é que cada ensaio ou investigação exige um modêlo especial efectuado na maior escala possível e que por isso, para poder efectuar simultâneamente vários ensaios, é conveniente possuir o maior espaço livre possível; espaço no qual se constroem os modelos que uma vez concluídos os ensaios se vão destruindo para dar lugar a outros.

O laboratório considerado esquemàticamente deverá constar de três partes: uma destinada a gabinetes do Director do laboratório e dos assistentes, sala de desenho e de estudo, apetrechada com a sua biblioteca própria; outra onde se instalarão a parte mecânica e eléctrica, género oficina onde se efectue um certo número de trabalhos e reparações pertencentes ao próprio laboratório e seu material e finalmente uma grande sala de ensaios onde se instalará o laboratório pròpriamente dito, e que deve ter possibilidade de dispor de espaço exteriormente ao edifício e na maior proporção possível para o caso de querer efectuar ensaios ao

ar livre, com modelos de dimensões maiores do que as permitidas pela sala.

Nada resta a dizer sôbre a parte de gabinetes, arrumação e oficinas que constituem um problema puramente arquitectónico. Devemos pelo contrário fazer incidir a nossa atenção sôbre a sala de ensaios, cujas dimensões devem ser as maiores possíveis, nunca inferiores a $35^m,00 \times 15^m,00$. Podemos desde já dizer que pode ser destinado um sector da sala para as experiências pròpriamente didáticas, se tal subdivisão se afigurar conveniente ao menos para certos ensaios.

Três características, definem por completo a potencialidade de um laboratório e a sua capacidade de efectuar ensaios, e a elas se devem referir tôdas as outras características do mesmo. Trata-se do caudal máximo disponível, das alturas de carga adoptáveis e do número de modelos, que houver posssibilidade de ensaiar simultâneamente. Estudemos qual a solução mais vantajosa sôbre estas três questões. Comecemos pelo caudal máximo disponível: o caudal máximo disponível mais conveniente deve estar em relação com a escala normal dos modelos a ensaiar e com o caudal máximo real do caso a estudar. Não é natural que devamos fazer ensaios em escala superior a 1 : 30 para caudais superando os 2.000 m^3/seg.; para caudais maiores as escalas adoptadas hão-de ser forçosamente menores. Ora o factor de redução de caudais para a escala 1 : 30 é igual a $30^{5/2} = 30^2 \times \sqrt{30} = 900 \times 3{,}477 \cong 4.930$. Para um tal factor de redução o caudal futuro equivalente a 2.000 m^3/seg. será $\frac{2.000}{4.930} = 0{,}406$ m^3/seg. quere dizer 406 l/seg.

No laboratório de Pádua o caudal máximo atingível na baixa pressão é de 400 l/seg. e em Zurich de 500 l/seg. (carga máxima de $4^m,00$ no primeiro caso e $4^m,50$ no segundo). Sendo muito pequena a diferença das instalações para um e outro caudal, deverá ser conveniente adoptar o caudal máximo de 500 l/seg. que nos fornece uma certa margem e que tem dado provas em Zurich de ser suficiente para os ensaios que têm aparecido. Para a queda média, aproximadamente 8 metros (como no laboratório de Pádua) consideraremos o caudal máximo de 100 l/seg. como mais conveniente e que em Pádua deu bons resultados. Para altas pressões procuraremos utilizar um caudal máximo de 10 l/seg. com uma altura máxima de $25^m,00$, no género do que existe em Nápoles.

Observemos a questão referente às alturas de carga a adoptar no laboratório. Duas soluções se apresentam: ou bem instalar o depósito de maneira a torná-lo regulável em altura, instalação compreendendo, portanto um ascensor, como em Zurich, ou considerar uma ou mais alturas de carga fixas por uma disposição conveniente dos reservatórios correspondentes. A primeira solução torna-se demasiado cara e é em geral supérflua, visto que a maior parte dos ensaios são feitos a céu aberto, quere dizer sôbre escoamentos em superfície livre, e mesmo naqueles casos em que se trata de escoamento sob pressão é quási sempre possível dispor o modêlo de acôrdo com a carga do reservatório, e não esta de acôrdo com aquêle; devemos, portanto, pôr de parte a solução em elevador. É possível, por outra parte, ter necessidade de efectuar ensaios com uma determinada carga, cujo valor seja apreciável, da ordem de alguns metros, e se dispusessemos de um único depósito de carga, satisfazendo a altura desejada, seríamos obrigados a elevar para êsse depósito tôda a água necessária a ensaios efectuados à superfície livre ou com carga inferior; ora isto constituïria um encargo desnecessário na elevação e uma falta de economia na exploração do laboratório, a que nós devemos fugir. Vemos, portanto, que é conveniente ter mais de um depósito, talvez dois, sem contar a instalação de alta pressão e situados a alturas diferentes.

Consideraremos então dois depósitos, um à altura de $4^m,00$ e outro à altura de $6^m,50$ sôbre o plano do pavimento do laboratório. O caudal de 500 l/seg. será elevado da seguinte maneira: 300 l/seg. a 5 metros; 100 l/seg. a 5 metros; 75 l/seg, a 8 metros, e 25 l/seg. a 8 metros, quere dizer que o caudal das duas primeiras bombas, no total de 400 l/seg. só poderá ser elevado para o primeiro depósito, e os restantes 100 l/seg. poderão ser elevados tanto para o primeiro como para o segundo depósito. A vantagem da solução adoptada consiste no facto, de que não sendo na maior parte dos ensaios utilizado o caudal total disponível, a subdivisão do caudal entre várias bombas nos proporciona a maneira de elevar

em cada caso o caudal que esteja mais próximo do realmente adoptado, evitando assim uma elevação desnecessária e um gasto inútil de energia, com a conseqüente vantagem da exploração económica.

Falta-nos ainda observar o facto do número de modelos que haverá possibilidade de ensaiar simultâneamente. Nesta questão devemos distinguir dois aspectos diferentes, o número de modelos que poderá estar instalado simultâneamente sem prejuízo da inutilização de qualquer dêles, mas sem poder actuar ao mesmo tempo, e o número de modelos sôbre os quais se poderá trabalhar simultâneamente. Ora, a primeira questão depende essencialmente do espaço disponível e da possibilidade de ligação dos diversos modelos à rêde adutora e distribuïdora, donde deriva a necessidade de dispor do maior espaço possível reservado à construção de modelos e do maior número possível de ligações ao circuito principal. Mesmo êste segundo aspecto da questão é secundário porque havendo espaço disponível é sempre possível dispor ligações quer já existentes, quer provisórias fornecendo água ao modêlo considerado. Consideremos o segundo aspecto do problema, é evidente que quanto maior seja o número de modelos que possam trabalhar simultâneamente, desde que haja o pessoal suficiente para o seu estudo, maior poderá ser o rendimento do laboratório. Em nenhum dos laboratórios visitados tinha sido previsto pràticamente o facto da possibilidade do trabalho simultâneo em mais de um modêlo, embora no laboratório de Pádua tal possibilidade tivesse sido prevista e houvesse disposições adaptáveis a tal fim. Creio que no nosso laboratório haveria tôda a conveniência em conseguir o trabalho simultâneo de três modelos, não só com o fim de experiências técnicas como com fins didáticos de maneira a poder dividir os alunos em três grupos trabalhando simultâneamente; isto poderia conseguir-se isolando em determinadas condições e sempre que se quisesse o circuito superior do reservatório com carga de 8 metros do circuito do depósito inferior e adoptando neste uma disposição idêntica à existente em Pádua, mas com a câmara de saída dividida por um septo transversal móvel que se pudesse colocar à vontade e retirar da mesma maneira, formando, portanto duas saídas separadas.

Vamos agora justificar a disposição consistindo em adoptar 4 câmaras de calma, à saída do depósito intermédio, providas cada uma de um descarregador próprio, circular e com diâmetro diferente; a vantagem consiste em poder utilizar uma única câmara e correspondente descarregador para ensaios que requeiram um pequeno caudal, e ainda quando seja necessário utilizar um grande caudal a sua medição poder subdividir-se entre as quatro câmaras e descarregadores que são aferidos independentemente um do outro, e isto fornece-nos uma maior garantia da exactidão na medição do caudal empregado; para nós tem ainda a vantagem de que colocando septos amovíveis transversalmente na câmara colectora, separando os descarregadores como nós quisermos, podemos fornecer água simultâneamente, se o quisermos, a mais de um modêlo. É ainda conveniente que os descarregadores sejam substituíveis, de maneira a poder combinar à vontade as suas diversas dimensões, adaptando-se às condições do caudal exigidas pelos diversos ensaios. Mas, ainda mais uma vantagem tem a subdivisão em bacias de calma; efectivamente, a exactidão e certeza na aferição dos diversos descarregadores e o êrro cometido, depende da relação entre o caudal máximo a aferir e a capacidade da câmara ou reservatório de aferição. Não podemos evidentemente dar a esta câmara uma capacidade excessiva e se existisse um único descarregador e bacia de calma êste deveria estar aferido até o máximo caudal 500 l/seg. disponível. Se dividirmos o caudal por 4 descarregadores iguais, bastará medir o máximo de 125 l/seg. por cada um dêles e isto proporciona-nos que o tempo de enchimento do depósito de aferição quadruplica, diminuindo a possibilidade de êrro; para obter o mesmo êrro com o caudal máximo seria necessário ter um depósito de capacidade 4 vezes maior.

Outra questão se relaciona com o máximo caudal disponível: é o volume do depósito de aferição. Se considerarmos que cada descarregador deverá ser aferido até ao caudal máximo de 125 l/seg. o que obriga a 4 descarregadores, e se quisermos obter um êrro da ordem 1 ‰ (1 por mil) é necessário que, tendo pos-

sibilidade de medir com suficiente precisão até 1/5 de segundo no tempo, disponhamos de um tempo mínimo de enchimento do depósito de 200 segundos (teremos assim um êrro de 1°/oo na medição do tempo), o que exige uma capacidade mínima de $200 \times 125 = 25.000$ $l = 25^{m^3}$. Podemos ter um depósito de $4^m \times 2^m,5$ em planta e com a altura de 3 metros, o que dá um volume de 30 metros cúbicos.

Tanto as fundações do depósito de aferição como do depósito de sucção das bombas deverão ter paredes duplas e fundações independentes do resto do edifício, para evitar qualquer infiltração e influência nas restantes fundações.

Nada de especial devemos dizer em relação ao sistema de tubagem mestra e canais de regresso, senão que a localização das ligações e derivações para o mesmo circuito só poderá ser estudado com a planta do laboratório.

Passemos agora a examinar a questão da medição dos caudais utilizados. Como sabemos a medição pode efectuar-se directa ou por intermédio do depósito de aferição. Êste segundo método é muito trabalhoso e depende na sua exactidão das manobras de introdução e fim do afluxo da água para o mesmo depósito, manobras que nem sempre terão a garantia de uma exactidão completa, principalmente quando efectuadas por alunos faltos de prática. Seguindo o primeiro método de leitura directa do caudal num descarregador ou num Venturi, teremos ainda que distinguir duas possibilidades: ou bem a medição é efectuada sempre em instalações fixas ou para cada ensaio se desloca um descarregador instalado em caixa especial e que se coloca imediatamente a jusante ou montante do modêlo. O primeiro método é usado em Pádua, o segundo em Nápoles, onde só existe um descarregador móvel devido à exigüidade do laboratório e em Zurich onde existem vários de diferentes dimensões. Comprovei pràticamente ser muito preferível o primeiro método, sobretudo quando acompanhado de sinalização eléctrica para os hidrómetros, e isto porque devendo, para os fins didáticos, muitas experiências serem realizadas pelos alunos, é muito mais fácil para estes a determinação do caudal em condições fixas com sinalização eléctrica; além disso as instalações móveis exigem cada vez que se mudem, um nivelamento rigoroso e sendo possível, uma verificação nalguns pontos da escala de caudais correspondentes e isto porque, dependendo o caudal da horizontalidade ou não do descarregador e da sua posição exactamente vertical, qualquer inclinação em qualquer sentido vai influir nos caudais medidos, provocando erros que para determinados ensaios podem ter certa importância. Concluímos então pela conveniência de ter uma instalação fixa de descarregadores de medição, munidos de hidrómetros com sinalização eléctrica; poupam-se desta maneira esforços e horas de trabalho desnecessárias e ganha-se na garantia de uma maior precisão.

Devemos por outro lado ter em conta os casos, não muito freqüentes, em que seja necessário fazer uma subdivisão de caudais no próprio modêlo e em que tal subdivisão não tenha possibilidade de ser efectuada por intermédio dos descarregadores das bacias ou câmaras de calma, utilizando os septos transversais; ou ainda os casos em que seja necessário a jusante do modêlo, avaliar os caudais correspondentes a diversas partes do mesmo. Nestes casos torna-se necessário recorrer, com as precauções necessárias, à medição de caudais utilizando instalações ou descarregadores móveis, instalados em câmaras apropriadas; torna-se, portanto, indispensável, que o laboratório possua 2 ou 3 descarregadores móveis para tal fim. Uma destas instalações pode ser ligada à bacia de calma do canal de vidro e mantida permanentemente nessa posição.

Resta-nos discutir o tipo de descarregador que deverá ser empregado na medição dos caudais. Como sabemos os descarregadores triangulares são mais aptos a medir pequenos caudais e os rectangulares caudais maiores dando pouca precisão nos pequenos, mas tanto uns como outros têm o inconveniente de precisarem um nivelamento rigoroso de maneira a que a sua horizontalidade seja perfeita e qualquer pequena diferença influe na exactidão das medições efectuadas. Não têm tal inconveniente os descarregadores circulares desde que o sejam exactamente e estejam bem torneados; qualquer que seja a sua posição em relação à horizontal conservam-se sempre semelhantes a si próprio. Deduz-se a vantagem de utilizar estes descarregadores nas instalações fixas,

tanto mais que o inconveniente que lhes poderia ser apontado de serem pouco rigorosos para os pequenos caudais e remediado pelo facto da aferição cuidadosa e de possuirmos 4 descarregadores de diâmetros diferentes que poderão ser utilizados cada um no campo de caudais que lhe seja mais próprio.

Os descarregadores triangulares consentem a medição de pequenos caudais com alturas bastante grandes a montante, mas ao crescer a carga o caudal aumenta tanto que pequenos erros na leitura da primeira podem fornecer erros essenciais na leitura daquele. Deduz-se daqui quando é que poderão ser empregados os descarregadores triangulares e quando os devemos substituir pelos circulares. Nas câmaras móveis de medição deverá ser possível trocar os descarregadores para efectuar sempre a medição com aquele que fôr mais próprio para a ordem de grandeza do caudal a medir.

Sôbre a instalação para aferição de molinetes devo ùnicamente dizer que achei perfeita a instalação existente em Pádua, constituída por Charriot Ott e motor com mudança de marchas hidrodinâmica da casa Calzoni de Bologna, e que portanto sou de opinião que a instalação no nosso laboratório deveria ser idêntica, embora se fizesse mais comprido o canal de aferição se tanto fôsse possível.

O canal de vidro a adoptar poderia ser também de tipo idêntico ao de Pádua, embora se isso fôsse possível se lhe desse a largura de $0^m,70$ em lugar $0^m,50$ como aquele tem. Ao canal deveria ser anexo um sistema de carris sôbre os quais rodasse um charriot com pantógrafo para o levantamento das secções e medições de altura de água e perfis longitudinais e transversais.

Acabam com isto as indicações referentes a um esquema do laboratório a estudar. Devemos, evidentemente prevenir de que tal esquema é destinado ùnicamente a formar algumas idéias e que na altura em que se pretenda fazer um projecto, será necessário, talvez, modificá-lo em certos detalhes e sobretudo completá-lo em muitos pormenores que correspondem já à execução e ao bom funcionamento do mesmo laboratório. É ainda possível que tenham chegado ao nosso conhecimento algumas inovações introduzidas em laboratórios estrangeiros e que mereçam ser estudadas ou adoptadas no nosso.

.....

Temos ainda que esclarecer uma dúvida e emitir uma opinião. Visto que vários organismos portugueses teriam interêsse em poder efectuar ensaios hidráulicos, porque motivo não instala cada um o seu próprio laboratório? É esta uma opinião que foi mais de uma vez emitida na minha presença; ora visto que o custo de um laboratório não diminue pelo facto de só efectuar ensaios de determinada categoria, técnicos só, ou só didáticos, ou só de investigação, e que as instalações tais como as apresentamos no esquema feito não podem ser deminuídas em nenhum caso, teríamos uma desnecessária duplicação de gastos e de esforços. Além disso, ninguém mais apto a estar ao facto dos avanços da técnica laboratorial e hidráulica e da maneira de efectuar os ensaios de que o professor da escola superior de engenharia que dirija o laboratório desta, visto que a sua obrigação, quer como professor, quer como investigador, é de estar sempre ao corrente de todo o avanço feito no estrangeiro na técnica dos ensaios; além disso todos os avanços e experiências obtidas pelo citado professor nos seus ensaios técnicos, podem ser, fàcilmente, e devem ser transmitidas aos seus alunos, o que contribuïrá, e não pouco, para a formação hidráulica dos mesmos, coisa que se não podia conseguir no caso da existência de dois laboratórios. Além disso, a existência dessa única instalação favorece que os alunos possam seguir, passo a passo, os ensaios efectuados tomando fácil contacto com a vida prática. Como prova de que esta orientação é a lógica podemos citar o facto de não conhecer nenhum laboratório adscrito a nenhuma entidade oficial que não seja uma escola superior de engenharia. Existem sim alguns não dependentes de escolas, mas constituem laboratórios explorados comercialmente e destinados a fazer ùnicamente ensaios de encomenda ou para as fábricas de que dependem.

.....

Não quero acabar sem frisar que me limitei a emitir uma série de opiniões sujeitas a correcção conforme as circunstâncias e opiniões

mais autorizadas assim o aconselhem. E acabo por exprimir o meu desejo e a grande satisfação que teria se o sonho da existência de um laboratório de hidráulica português, que colocasse o nome da nossa Nação no lugar que lhe compete no meio dos cultores da hidráulica, se tornasse uma realidade, no que confio, tanto mais que o ilustre Ministro das Obras Públicas e Comunicações compreende perfeitamente a necessidade que dêle existe e outro tanto se pode dizer do Director e Conselho Escolar do Instituto Superior Ténico.

Anexo n.º 1

Experiências a efectuar no Laboratório como acompanhamento ou complemento da cadeira de hidráulica geral

I — Exemplificação no canal de vidro e num descarregador dos movimentos uniforme, permanente e variado.

II — Exemplo do movimento com potencial de velocidade por meio do descarregador em crista arredondada.

III — Exemplo do movimento viscoso e turbulento (Experiência de Reynolds) (tubo de vidro).

IV — Linha de energia. Sua determinação num movimento uniforme (canal de vidro).

V — Verificação da não hidrostática distribuïção de pressão no caso de um escoamento curvilíneo (descarregador de crista arredondada).

VI — Determinação do valor do coeficiente α em alguns casos (canal de vidro).

VII — Determinação da perda de Borda em um rápido alargamento de secção (tubos metálicos).

VIII — Experiências sôbre os estreitamentos e alargamentos de secção, como aplicação da linha de energia (canal de vidro).

IX — Formação do ressalto hidráulico e observações sôbre êle (canal de vidro).

X — Aferição de orifícios — diversos tipos e coeficientes.

XI — Experiência sôbre o efeito Borda ou tubo adicional.

XII — Experiências sôbre comportas adufas — aplicação da linha de energia e coeficiente de contracção.

XIII — Experiências sôbre descarregador em soleira delgada — Diversos tipos de veia.

XIV — Descarregador em soleira espessa e horizontal. — Com crista arredondada.

XV — Medições em diversos tipos de descarregadores — Triangular — Poncelet — Bazin.

XVI — Descarregador lateral — casos da corrente rápida e lenta.

XVII — Fenómenos provocados por obstáculos na soleira — aplicação da teoria da linha da energia.

XVIII — Experiências sôbre a perda de carga em correntes em pressão.

XIX — Experiências sôbre as diversas formas de comportar-se uma tubagem unindo dois reservatórios.

XX — Experiências sôbre sifões.

XXI — Ensaios sôbre classificações de correntes em rápidas e lentas.

XXII — Ensaios mostrando os diversos tipos de regolfo.

XXIII — Regolfo produzido pelos pilares das pontes — Diversos casos.

XXIV — Descarregador lateral — Marcha da água no canal colector.

XXV — Ondas pequenas em correntes rápidas ou lentas.

XXVI — Marcha de uma onda de translação.

XXVII — Determinação das perdas de carga através de maciços permeáveis.

XXVIII — Observação e manipulação de instrumentos hidrométricos — Hidrómetros — Pluviómetros — Piezómetros — Flutuadores — Tubos de Pitot — Molinetes — Detalhes dos descarregadores — Medições de caudal com molinetes — com tubos Venturi — Diafragmas e Bocais — Contadores — Canal Venturi — Escalas de Caudais — Partidores — Reguladores.

A Investigação Experimental Científica

PELO ENGENHEIRO CIVIL (U. P.) EDGAR CARDOSO

Graças ao trabalho incessante do cérebro humano, os conhecimentos teóricos dos indivíduos aumentam dia a dia, através dos séculos, sem perturbações, desde que algum cataclismo, físico, social ou político os não destruam e os não percam; mas êsse formidável esfôrço só dará algum trabalho útil ao homem, se puder aplicar-se à prática para uma melhoria de vida.

A *experiência* completa a teoria, confirmando a certeza dos números, diz-nos até que ponto poderão ser admitidas e válidas as hipóteses feitas e dá-nos novos fenómenos passados despercebidos no trabalho mental; mais ainda, a *Experimentação,* só por si, é suficiente para resolver questões que o cálculo não é capaz de resolver. Um projecto obtido por via mecânica — *experimental* — é indubitàvelmente mais preciso do que se fôr calculado a partir de hipóteses e operações algébricas; só assim se explica e se compreende, por exemplo, o arrôjo de certas obras de Antiguidade que ainda hoje nos espantam e que tudo leva a crer que não foram calculadas como sólidos elásticos.

Não queremos dizer que se coloque a investigação matemática em segundo lugar, pois cada vez ela é mais necessária ao verdadeiro engenheiro. Como disse Leonardo de Vinci «primeiro ocupa-te da ciência e a seguir da prática que provém da teoria», assim pensamos nós, mas não devemos esquecer, que, «o cálculo não tem valor senão na proporção da concordância das suas conclusões com os resultados da experiência»,[1] e que, «o ensaio deve ser para o engenheiro o que a anatomia é para o médico», como disse Probst.

Não pode haver progresso sem o concurso da experiência, porque, na realidade, é a prática a base elementar da teoria; é, baseando-nos nos fenómenos da natureza, que estabelecemos as primeiras hipóteses de cálculo. Ainda hoje a teoria não explica determinados problemas que a experiência nos desvendou e é muito natural que o afastamento, entre ambas, aumente, devido ao notável incremento que se está dando à experimentação na Engenharia Moderna. Julgamos, por tudo isto, que não há um engenheiro sequer, que duvide dos benefícios da experiência e da vantagem que nos dão os ensaios sôbre modelos reduzidos, tradução mais ou menos perfeita das obras que construímos. Um modêlo reduzido é, com efeito, como o próprio nome indica, um sistema semelhante, em forma, elasticidade ou funcionamento, à construção real, mais fácil de estudar experimentalmente, pelas suas dimensões, condições elásticas, solicitações e muito principalmente pelo seu custo, que não representa, em geral, senão, uma fracção ínfima do valor da obra real.

Eu creio ainda, que não há engenheiro algum que ponha em dúvida os bons resultados obtidos com modelos reduzidos e que êsses ensaios não chegam a importar um valor sensível no orçamento geral da construção. Mas, o que podemos afirmar, é que a opinião geral dos técnicos, com raras excepções, pensa que ensaiar um modêlo — calcular um projecto por via experimental — é coisa difícil, para quem nada tem. Como executar um modêlo e ensaiá-lo, sem um laboratório e sem a conseqüente e inúmera aparelhagem, como se observa nos similares estrangeiros?

Diz-se que, tais laboratórios, se tornam demasiado onerosos; que, «qualquer modificação

[1] De Adrien Paris.

tem de ser firmada em ensaios, experiências e observações que demandam, além de muito tempo, *laboratórios especiais,... modelares,...* bem dotados para investigação em modêlos reduzidos,...»; que, «tal labor, longo e dispendioso não está nas possibilidades dum indivíduo; só pode ser executado por comissões permanentes de estudos, que existem aliás em vários países» [1].

Estudantes e novos engenheiros, reagi contra êsses princípios! Um *Laboratório de Experimentação* a todos é acessível; cada um de vós poderá tê-lo em vossa própria casa e realizar nêle experiências com a precisão da dos melhores laboratórios oficiais. Em vossa casa podereis resolver, por via mecânica, a mais complicada estrutura hiperstática; podereis demonstrar, com tôda a segurança, a inexactidão de certos «postulados» que a rotina firmou.

Tudo depende da vossa habilidade, no sentido genérico da palavra; como técnicos que sois, estudareis, teòricamente, a melhor forma de transformar a obra num modêlo reduzido, utilizando o material que tiverdes, de modo a determinar certo esfôrço ou deslocamento, ùnicamente com a aparelhagem que possuirdes. Partireis dos princípios que a vossa preparação científica vos dá para adaptar o modêlo a cada caso de ensaio, e, essa preparação é bem suficiente para iniciar qualquer estudo, temos de confessá-lo, èm bom nome das Escolas de Engenharia do país.

Nós reagimos com plena consciência do que fazemos; não atacamos alguém, nem nunca tivemos essa intenção nas nossas publicações; atacamos sim, com todos os nossos conhecimentos e energias, as idéias e princípios de que discordamos e que desejávamos postos à discussão, só com um fim: construir melhor e mais barato a bem da economia nacional.

Nós possuímos um laboratório (se assim se poderá chamar a uma dependência, — que nem até nos pertence, — com poucos mais aparelhos e ferramentas que os duma sala de trabalhos manuais de qualquer curioso), aonde temos construído os aparelhos que necessitamos e aonde temos realizado experiências, que ainda não vimos descritas, certamente por ignorância nossa, nas publicações dos melhores laboratórios estrangeiros. Nada mais é preciso do que uma boa vontade e um maior desejo e prazer de saber hoje mais do que sabíamos ontem.

Vamos provar, não com simples palavras vãs, mas com alguns casos concretos, para exemplo, como é possível, *a todos,* ensaiar modelos reduzidos.

Com uma fôlha de cartão, duas agulhas (para medição das variações angulares), alguns pesos aferidos e pouco mais, poder-se-á resolver o mais complicado sistema de lajes, como as fungiformes, por exemplo, com precisão bem superior à que dá os métodos expeditos normalmente empregados.

Substituamos o cartão por um material mais homogéneo e isótropo, seja o celulóide; dêmos-

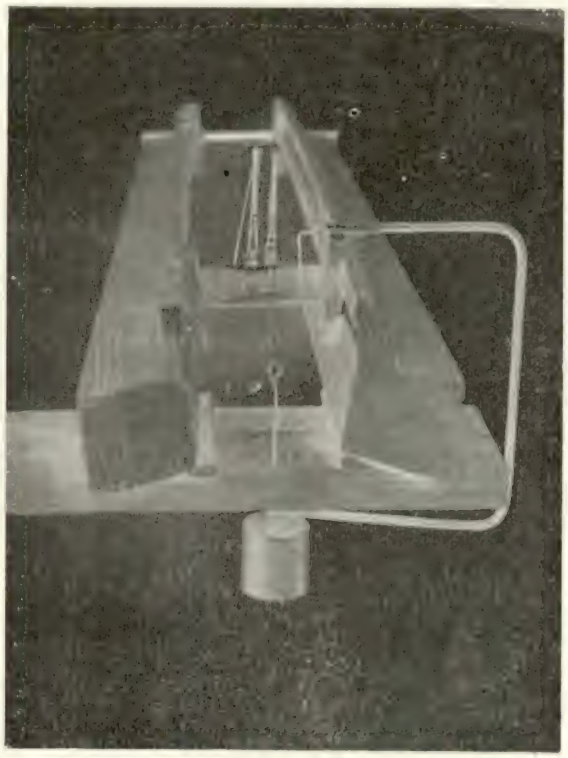


Fig. 1

-lhe espessura e demais dimensões apropriadas às determinações a fazer; substituamos as agulhas por um pequeno aparelho fácil de imaginar e construir; verifiquemos se as condições de apoio do modêlo correspondem aos da construção a projectar, e nada mais

[1] Do Regulamento de Betão Armado, em vigor.

necessitamos. Calcularemos assim, com o rigor que quisermos, os momentos de flexão, esforços transversos ou momentos de torção, em qualquer ponto e para qualquer hipótese de carga ou sobrecarga, da obra a construir.

A fig. 1 dá-nos o aspecto do ensaio duma laje simplesmente apoiada em dois lados paralelos, extensos em relação aos outros dois, que são livres e normais aos primeiros; nessa figura se vê o tal aparelho, um *flexímetro-torcímetro,* por nós construído, que substitue com vantagem as agulhas e que está montado de modo a determinar a superfície de influência dos momentos flectores a meio do vão da laje e no sentido do vão, a uma distância dos bordos livres igual a metade da distância das linhas de apoio.

A fig. 2 dá uma imagem do estudo experimental dos momentos de encastramento duma laje em consola, pràticamente indefinida, num

Fig. 2

sentido, ao longo do plano de encastramento. O processo utilizado é completamente diferente do empregado no exemplo anterior, cujos princípios se encontram descritos na «Revista da Faculdade de Engenharia», Vol. VI, n.º 4, de Agôsto de 1940.

Com êste tão simples e escasso material, é-nos possível verificar, com a maior facilidade, por exemplo, qual a faixa de distribuïção a considerar para o cálculo duma laje apoiada em dois lados, devido à acção das sobrecargas concentradas, faixa que depende da posição da sobrecarga. Poderemos demonstrar quanto é falsa a indicação dada pelo Regulamento de Betão Armado, em vigor, sôbre essa distribuïção, em determinados casos de solicitação real e mais provável. Por curiosidade diremos que os momentos flectores chegarão a atingir quási o dôbro do valor que dá o citado regulamento,

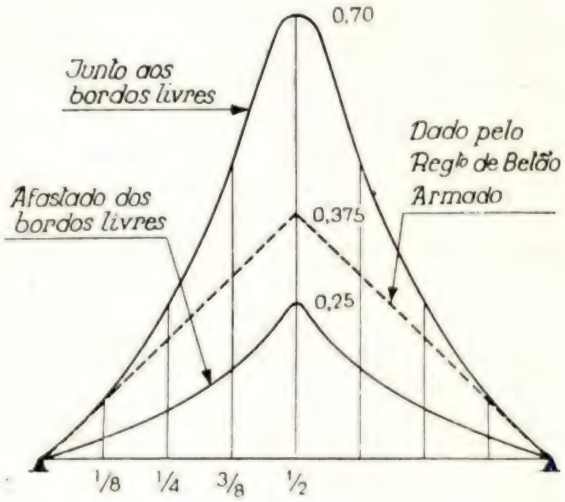


Fig. 3

quando a carga se encontra próximo dos bordos livres; mas, a uma distância dêsses bordos pouco superior a metade do vão, já o regulamento dá esforços muito superiores aos esforços reais. A fig. 3 mostra-nos as linhas de influência — intercepção das superfícies de influência dos momentos flectores, — a meio do vão (no sentido do vão), por planos normais às

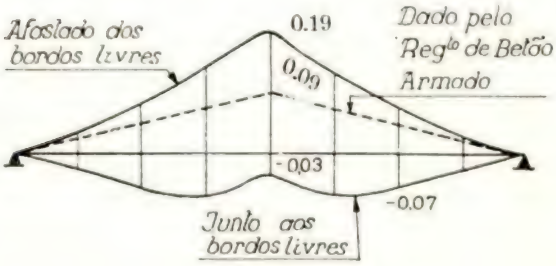


Fig. 4

linhas de apoio, passando pelos pontos considerados; essa figura dá o êrro que se comete

quando se adoptam os valores a que o regulamento obriga.

Outro exemplo, digno de menção, é o que se refere às armaduras de distribuïção das mesmas lajes. Está determinado colocar-se uma armadura pelo menos igual a $^1/_4$ (haverá certamente a tendência para não se empregar armadura maior, dizemos nós) da armadura de resistência, na mesma superfície; a verdade é que, junto aos bordos livres, a meio vão, essa armadura não precisa ser senão $^1/_{10}$ da armadura principal, mas longe dos bordos (já a uma distância igual a $^1/_2$ vão) a armadura secundária terá de ser quási igual à armadura de resistência. Se cumprissemos o regulamento (e teremos de o cumprir?) colocaríamos uma armadura maior junto aos lados livres e menor afastada dêsses lados, contràriamente ao que deve ser na realidade, como o indica a fig. 4, que representa, idênticamente, as intercepções das superfícies de influência dos momentos flectores a meio do vão, no sentido longitudinal, por planos normais às linhas de apoio, passando pelos pontos considerados. Mais ainda, iríamos pôr a armadura secundária, junto aos bordos livres, na face inferior, quando afinal a face traccionada (no sentido paralelo aos lados de apoio) é a superior, como mostra a mesma figura.

A conclusões idênticas chegamos, absolutamente contrárias ao estabelecido no regulamento, pelo que diz respeito aos esforços transversos.

Quanto mais útil e mais preciso seria o regulamento se indicasse as superfícies de influência dos esforços, pelo menos nos casos simples das lajes apoiadas e encastradas, em vez de se limitar a seguir as normas estrangeiras mais nossas conhecidas.

O cartão simples, ou impregnado de parafina, pode ainda servir para calcular qualquer estrutura hiperstática plana, como vigas encastradas ou contínuas, pórticos simples ou múltiplos, arcos, etc., ou mesmo sistemas no espaço, como vigas curvas, por exemplo.

E, que material é necessário? Nada mais do que nos mostra a fig. 5, que representa o estudo dum arco encastrado, executado em *cartão-madeira*. Esta figura dá-nos o aspecto dos ensaios dum modêlo reduzido, segundo o processo utilizado na laje em consola — anteriormente citado — dum arco duma grande obra projectada e em execução; os aparelhos estão dispostos de modo a calcular-se o esfôrço normal nas nascenças devido à acção duma carga móvel vertical.

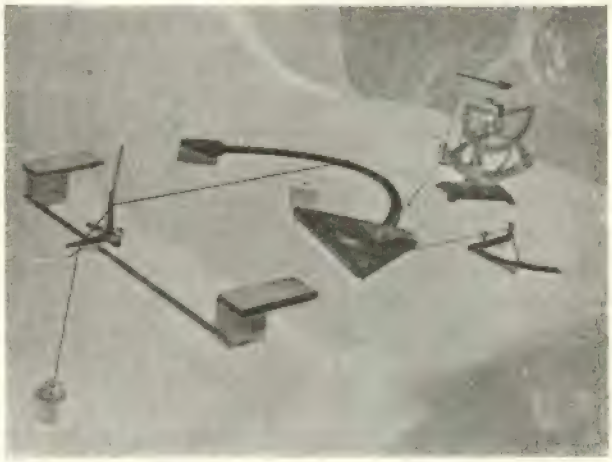


Fig. 5

Para calcularmos uma laje nervurada do pavimento dum edifício ou dum tabuleiro duma ponte, basta-nos um pouco de parafina, por exemplo, para executar o modêlo reduzido, a qual se funde e rectifica depois com um simples canivete; para o ensaiarmos serve-nos a aparelhagem indicada atrás, nada mais precisamos.

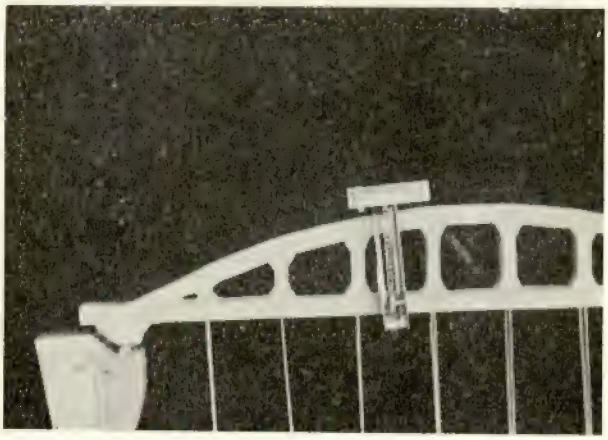


Fig. 6

A madeira branda ou o contraplacado, fáceis de trabalhar à serra de recorte, mesmo ma-

nual, poderão também ser utilizados para executar modelos reduzidos. O alongamento ou encurtamento duma zona duma fibra dar-nos-á o estado de *tensão aparente*, da zona da fibra; outros ensaios à volta dela, determinarão as *tensões médias efectivas* do material, nessa zona. Como encontrá-los? Por exemplo, com um aparelho que amplie e meça essas deformações e que qualquer de vós poderá construir. A fig. 6 mostra um dêsses aparelhos — um extensómetro — (também construído no nosso laboratório) montado no banzo tenso dum modêlo reduzido duma viga Vierendeel, que amplia 3.000 vezes as deformações. O modêlo foi recortado duma tábua de madeira branda, de módulo de elasticidade muito baixo, mas qualquer outro material servirá.

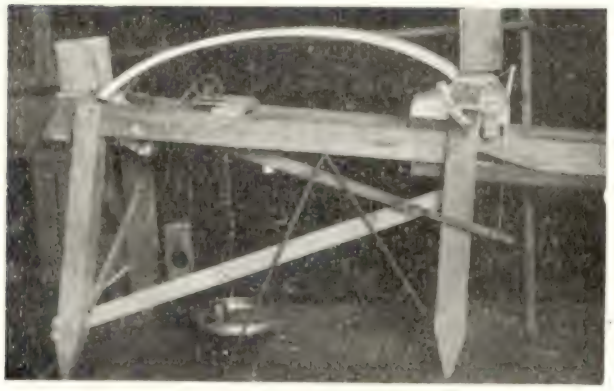


Fig. 7

O gêsso de prêsa é mais um exemplo doutro material de que podemos dispor para executar modelos, por mais complicados que pareçam, quer no plano, quer no espaço.

A fig. 7 indica uma abóbada executada com êsse material e que está a ser ensaiada com cargas verticais directamente sôbre o extradorso.

A fig. 8 mostra-nos a mesma abóbada, mas já com muros de tímpano, entre os quais se colocou o enchimento. Neste caso estudam-se os efeitos da transmissão indirecta das cargas através do enchimento, com ou sem laje no pavimento da faixa de rolagem.

Diz o Regulamento de Betão Armado que, «no cálculo das abóbadas e na direcção longitudinal não se suporá distribuïção alguma da sobrecarga», «... supor-se-ão isoladas sem distribuïção alguma». Os cálculos teóricos podem demonstrar, em certos casos, que o regulamento peca por defeito; mas, mesmo que o

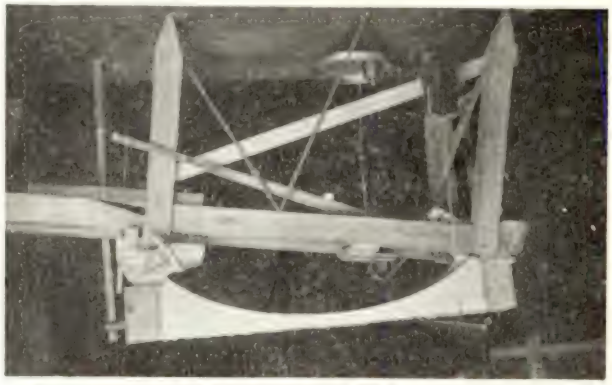


Fig. 8

cálculo não demonstrasse, demonstrávamos nós com os ensaios experimentais da abóbada que representamos nas figuras 7 e 8. A transmissão indirecta pode ser, com efeito, bem desfavorável.

A fig. 9 dá as linhas de influência dos momentos flectores do encastramento da esquerda, devidos à acção da carga vertical, sendo a tracejada a obtida com transmissão directa e a de traço cheio com a transmissão indirecta através do enchimento. A passagem dum com-

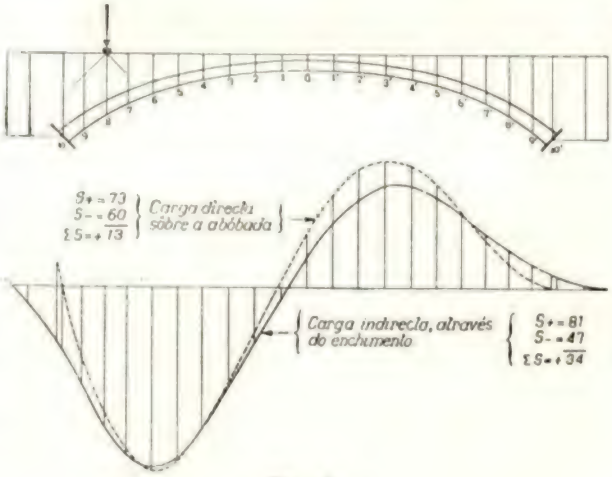


Fig. 9

bóio, na ponte, daria momentos flectores nas nascenças 10 % superiores aos que o regula-

mento impõe; uma sobrecarga uniforme ao longo de tôda a ponte, como por exemplo o balastro, daria momentos quási três vezes superiores aos que se obteriam se seguíssemos as disposições oficiais.

*
* *

E muitos mais exemplos ser-nos-ia possível indicar se não temêssemos ser demasiadamente longos. Julgamos ter convencido o leitor, da veracidade das nossas anteriores afirmações: *ensaiar um modêlo reduzido, sob o ponto de vista elasticimétrico é trabalho tão fácil como executá-lo; construí-lo, de modo a adaptá-lo à nossa pouca aparelhagem, é obra para todos os curiosos, é um prazer e uma distracção para a mocidade desejosa de novos conhecimentos.*

Fig. 10

A determinação experimental dos esforços das estruturas hiperstáticas, com o auxílio de modelos reduzidos é, em nossa opinião, de maior certeza e realidade que todo e qualquer cálculo analítico. E, o que de mais notável há a assinalar — perdoem-nos a teimosia — é que podemos, *quási sempre,* ter uma comprovação analítica dos resultados encontrados, além da verificação experimental por processos diferentes, ou fazendo determinações a mais do que as estritamente necessárias.

Por exemplo, a superfície de influência dos momentos flectores em A da laje consola indicada na fig. 10, há-de ter um volume igual a $k\frac{L^2}{2}$ (em que k é a extensão da zona de encastramento A), porque o momento de encastramento duma consola de balanço L, carregada com uma carga unitária uniformemente distribuída é $\frac{L^2}{2}$.

A fig. 11 dá as intercepções da referida superfície, por planos verticais paralelos ao plano de encastramento e afastados de 0,2 L. Cada uma das intercepções deverá ter, por seu turno, uma área igual a kx, por ser x o momento flector numa consola quando a carga unitária concentrada se encontra à distância x do plano de encastramento.

Pena é que a nossa Regulamentação faça silêncio sôbre tão importante ramo da Engenharia — a *Experimentação* — e que, ainda, em contrapartida, só aceita cálculos teóricos, em oposição às instruções dum grande número de países que admitem mesmo processos experimentais grosseiros como o de Rieckhoff.

Em tôdas as nações na vanguarda da ciência, ela ocupa o primeiro lugar da Engenharia e da Instrução, com a qual se gastam importantíssimas verbas, mas a óptimo juro!... Já para nós seria bastante que a não tomássemos

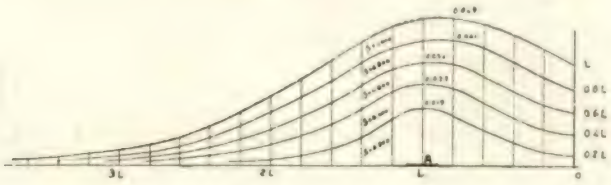


Fig. 11

com desprêzo, nas futuras rectificações aos regulamentos em vigor.

A criação de laboratórios de investigação experimental científica é, pois, no estado actual dos nossos conhecimentos, o primeiro passo a dar para o *rejuvenescimento da Engenharia Portuguesa!*

A oficialização dêsses laboratórios, com a assistência de comissões permanentes de estudos, provocaria altíssimos serviços à Nação. Demonstraria, ao mundo, o nosso espírito de independência na nova técnica como o temos

sempre demonstrado em tôdas as causas, há mais de oito séculos.

Uma pequena variante num projecto, indicada por um tal laboratório, quantas vezes daria maior segurança à obra a-par de importantes economias, com um dispêndio mínimo nos ensaios.

Evidentemente que, dos laboratórios a cargo do Estado, tudo nos leva a dizer que saïriam indicações mais úteis e mais numerosas do que as obtidas por um particular, com os seus únicos recursos, nas suas horas de descanso e sem qualquer apoio. Mas, seja como fôr, a contribuïção individual proveniente da curiosidade de saber de cada um, será sempre pouca, para quanto necessita a *Engenharia Moderna* e para quanto merece o nosso Portugal.

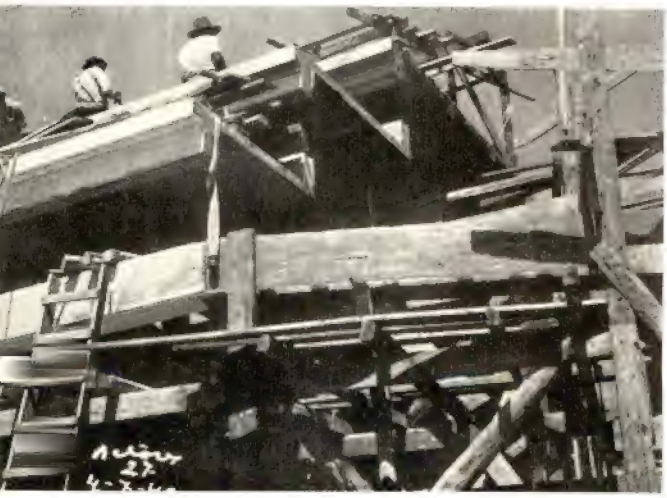
NOVO MERCADO DE ARROIOS

FACHADA

VISTA INTERIOR

CAVE

NOVO MERCADO DE ARROIOS



FASES DA CONSTRUÇÃO

O CÁLCULO DO BETÃO ARMADO APLICADO AOS EDIFÍCIOS

POR
J. DE CANG
Engenheiro civil
Professor da Universidade do Trabalho de Charleroi

(Continuação do n.º 123)

B — Lages suportadas por nervuras ortogonais

Quando a sobrecarga é muito elevada, ou a distância entre as nervuras é bastante superior a três metros, a disposição atrás indicada exige uma espessura de lage muito grande. Neste caso, há todo o interêsse em prever nervuras secundárias que se apoiam sôbre as nervuras principais. Calcula-se então a lage pela teoria da dupla flexão, isto é, supõe-se que a carga total p, por metro quadrado, se divide em duas partes p_a e p_b actuando respectivamente segundo os vãos a e b, (fig. 118).

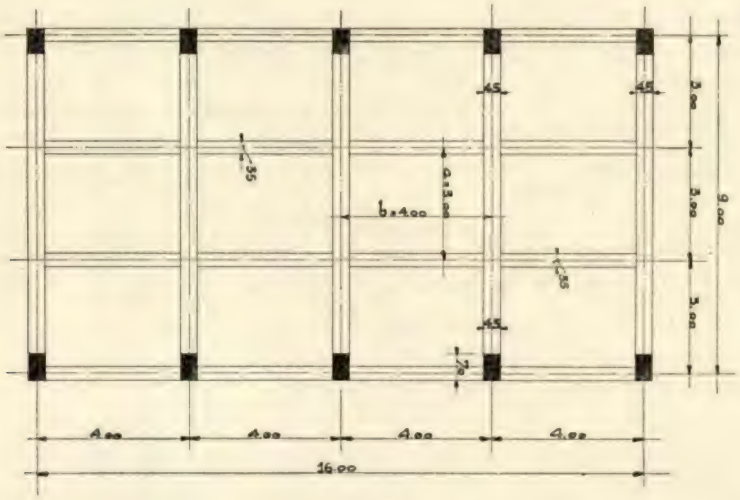


Fig. 118

$$p_a = \frac{b^4}{a^4 + b^4}$$

$$p_b = p - p_a$$

No cálculo da flexão no sentido a, supõe-se que a lage se apoia sôbre as nervuras secundárias e que as nervuras principais não existem.

No cálculo da flexão no sentido b, supõe-se ao contrário, que a lage se apoia sôbre as nervuras principais e que as nervuras secundárias não existem. Voltou-se, portanto, ao caso de uma lage suportada por uma série de nervuras paralelas. É o cálculo da flexão, no sentido do vão menor (a), que determinará a espessura a adoptar para a lage, pois é neste sentido que se dão os maiores momentos.

Quando num painel de uma lage (axb), o maior lado b fôr superior a uma vez e meia o lado menor a, supõe-se que tôda a carga é suportada no sentido da menor dimensão. Calcula-se, no entanto, a lage no sentido do maior vão para uma carga igual a 20 % da carga total [1].

---

[1] O artigo 31.º do R. B. A. já citado, quando se tratou das lages armadas em cruz, é igualmente extensível a esta parte, aconselhando a aplicação da teoria das placas ou o método simplificado de Marcus, que indica. (Vidé *Beton-Kalender* p. ex.) (N. T.)

Podemos fazer trabalhar o betão, nas duas direcções ortogonais, no seu máximo de resistência (limite de fadiga) pois as duas fadigas são completamente independentes uma da outra. Não é porém inútil lembrar, que no cálculo das nervuras se deve proceder de modo a que a soma das tensões de compressão na lage, devida à flexão própria da lage e à das nervuras, não ultrapasse os limites admitidos. Como se não conhece, á priori, o valor da tensão de compressão do betão devida à flexão das nervuras, será necessário determinar a espessura da lage fixando arbitràriamente uma tensão limite (30 a 40 kg/cm²) (¹).

PRIMEIRA APLICAÇÃO NUMÉRICA

Pede-se para calcular os elementos de uma lage de $16^m,00 \times 9^m,00$, suportada por nervuras ortogonais (fig. 118) com uma sobrecarga de 500 kg/m² podendo ocupar um ou dois vãos. A tensão de compressão do betão será igual a 50 kg/cm² e a tensão de tracção das armaduras a 12 kg/mm².

Cálculo da lage

Vamos calcular a lage para uma tensão limite de 40 kg/cm² a-fim-de se ter em conta a tensão de compressão, suplementar, correspondente à flexão das nervuras (²).

Para a determinação aproximada do pêso próprio consideraremos uma espessura da lage igual a 1/30 do vão, isto é:

$$\frac{3,00}{30} = 10 \text{ cm}$$

donde: $p_m^m = 0,10 \times 2500 = 250$ kg/m².

A êste pêso próprio, torna-se necessário juntar, eventualmente, o pêso do pavimento bem como o do tecto. No nosso caso suporemos que há apenas um simples rebôco, que avaliaremos em 25 kg/m², o que nos dará um total de $250 + 25 = 275$ kg/m².

Sobrecarga: $p_s = 500$ kg/m².

Carga total: $p = p_m + p_s = 275 + 500 = 775$ kg/m².

Vamos calcular a lage pela teoria da dupla flexão. Suponhamos que a carga total p se divide em duas partes p_a e p_b actuando respectivamente segundo os vãos $a = 3^m,00$ e $b = 4^m,00$

$$p_a = p \frac{b^4}{a^4 + b^4}$$

$$= 775 \frac{4^4}{3^4 + 4^4}$$

$$= 590 \text{ kgsm}$$

$$p_b = p - p_a = 775 - 590 = 185 \text{ kgsm.}$$

No cálculo da flexão no sentido $a = 3^m,00$, vamos supor que a lage se apoia sôbre as nervuras secundárias e que as nervuras principais não existem.

Voltamos portanto ao caso duma lage suportada por uma série de nervuras paralelas. Como o cálculo da flexão no sentido do vão menor, é que determina a espessura da lage a adoptar, começaremos pelo cálculo da flexão no sentido $a = 3^m,00$ (³).

a) *Flexão no sentido $a = 3^m,00$; lage contínua de três vãos iguais.*

Bastará seguir as indicações contidas na Tabela X:

Momento flector máximo negativo:

$$M_B = -\frac{590 \times 3^2}{10}$$

$$= -531 \text{ kgms}$$

Êste momento negativo produz-se na secção do segundo apoio e corresponde ao caso de todo o pavimento estar carregado.

Altura útil da lage: $e_{th} = A\sqrt{M_B}$

O coeficiente $A = 4,11$ para $n = 40$ kg/cm² e $t = 12$ kg/mm² (Tabela I) donde:

$$e_{th} = 4,11\sqrt{531}$$

$$= 94,50$$

(²) Vidé nota (¹). (N. T.)

(¹) O artigo 36.º do R. B. A. prevê a colocação de 10 ø a 6 m/m p. m. dispostos ortogonalmente e a tôda a largura interessada na compressão quando as armaduras da lage forem paralelas à viga, mas não prescreve a adição das fadigas dos dois elementos. (N. T.)

(³) Vidé nota da pág. 591. (N. T.)

Secção das armaduras de encastramento colocadas sôbre as nervuras secundárias:

$$\omega_B = B \frac{M_B}{e_{th}}$$

$B = 93{,}74$ para $n = 40$ kg/cm², $t = 12$ kg/mm² (Tabela I), donde:

$$\omega_B = 93{,}74 \frac{531}{94{,}50}$$
$$= 520 \text{ mm}^2$$

Empregaremos 10 varões de 8 mm, por metro corrente, com uma secção total de 502 mm². Prolongaremos metade dêstes varões, isto é 5 varões por metro corrente, no vão intermédio, a-fim-de resistirem aos momentos negativos que se podem produzir quando o primeiro e o terceiro vãos estão carregados. Os 5 restantes varões serão limitados nos pontos indicados na Tabela X.

Espessura total da lage: $9{,}45 + 15{,}5 = 110$ mm. Ora, como nos baseamos para o cálculo do pêso próprio na espessura de 10 cm e como o êrro cometido é pequeno, não recomeçaremos os cálculos.

Secção das armaduras de flexão (sentido a = 3ᵐ,00).

A carga $p_a = 590$ kg/m² determinada atrás, é composta de uma parte do pêso próprio p_{a-m} e de uma parte da sobrecarga p_{a-s}.

$$p_{a-m} = 590 \frac{p_m}{p_m + p_s}$$
$$= 590 \frac{275}{775}$$
$$= 210 \text{ kg/m}^2$$
$$p_{a-s} = 590 - 210$$
$$= 380 \text{ kg/m}^2$$

O momento flector máximo que serve para determinar as armaduras de flexão tem o seguinte valor:

$$M_1 = 0{,}08\ p_{a-m}\, a^2 + 0{,}10\ p_{a-s}\, a^2$$

Êste momento produz-se sensìvelmente a meio do primeiro vão, quando os vãos ímpares estão carregados (1.º e 3.º vãos).

$$M_1 = 0{,}08 \times 210 \times \overline{3}^2 + 0{,}10 \times 380 \times \overline{3}^2$$
$$= 150 + 340$$
$$= 490 \text{ kgms}$$

Donde:

$$\omega_1 = B \frac{M_1}{e_{th}}$$
$$= 93{,}74 \cdot \frac{490}{94{,}50}$$
$$= 486 \text{ mm}^2$$

Empregaremos 10 varões de ø 8 mm, por metro corrente, com uma secção total de 502 mm². Prolongaremos 5 varões de um extremo ao outro da lage e limitaremos os restantes nos pontos indicados na Tabela X.

Na figura 104 está representada a título documental, a curva envolvente dos momentos máximos positivos e negativos, duma lage contínua de três vãos iguais ($l = 3^m{,}00$). É conveniente lembrar que as indicações que figuram na Tabela X dispensam completamente o traçado desta curva.

b) *Flexão no sentido b = 4ᵐ,00 — Lage contínua de quatro vãos iguais.*

Secção de armaduras de encastramento colocadas sôbre as nervuras principais:

$$\omega_B = B \frac{M_B}{e_{th}}$$

Ora,

$$M_B = -\frac{185 \times 4^2}{10}$$
$$= -296 \text{ kgms}$$
$$e_{th} = 86 \text{ mm (fig. 119)}$$

Quanto ao valor do coeficiente B, êste depende da tensão de compressão do betão no sentido $b = 4^m{,}00$.

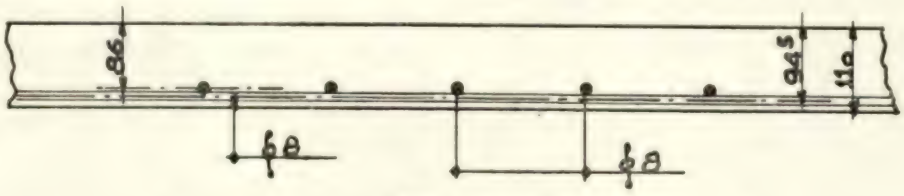


Fig. 119

Ora:

$$e_{th} = A\sqrt{M_B} = 86 \text{ mm}$$

donde:

$$A = \sqrt{296} = 5$$

o que corresponde a $n = 30$ kg/cm², aproximadamente.

Consultando a Tabela I achamos por interpolação $B = 92$ para $A = 5$ e $t = 12$.

Donde:

$$\omega_B = 92\,\frac{296}{86}$$

$$= 316 \text{ mm}^2$$

Empregaremos 6 varões de ø 8 mm, com uma secção total de 302 mm².

Estes varões serão prolongados, para os dois vãos intermédios, a-fim-de resistirem aos momentos negativos que se podem produzir, quando a sobrecarga ocupa o primeiro e o terceiro vãos, ou o segundo e o quarto.

Sôbre as vigas de bordadura colocaremos 4 ø de 8 mm, a-fim-de resistirem aos momentos de encastramento devidos à rigidez destas vigas.

Secção das armaduras de flexão (sentido b).

A carga p_b compõe-se de uma parte do pêso próprio p_{b-m} e de uma parte da sobrecarga p_{b-s}.

$$p_{b-m} = 185\,\frac{p_m}{p_s + p_m}$$

$$= 185\,\frac{275}{500 + 275}$$

$$= 65 \text{ kg/m}^2$$

$$p_{b-s} = 185 - 65 = 120 \text{ kg/m}^2$$

Momento máximo positivo:

$$M_1 = 0{,}08\, p_{b-m}\, b^2 + 0{,}10\, p_{b-s}\, b^2$$

$$= 0{,}08 \times 65 \times 4^2 + 0{,}10 \times 120 \times 4^2$$

$$= 80 + 192 = 272 \text{ kgms}$$

Secção das armaduras de flexão:

$$\omega_1 = B\,\frac{M_1}{e_{th}}$$

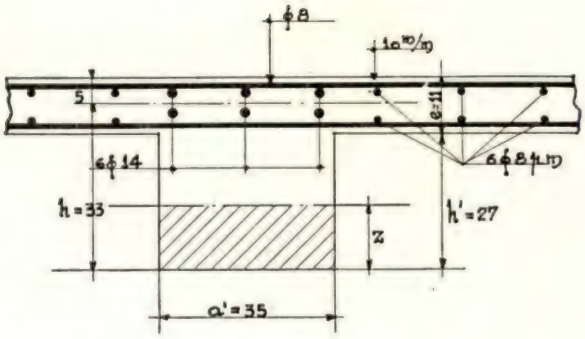


Fig. 120

O valor do coeficiente B depende do de A. Ora:

$$e_{th} = 86 = A\sqrt{272}$$

donde

$$A = \frac{86}{\sqrt{272}} = 5{,}20$$

Consultando a Tabela I constata-se que para o valor de $A = 5{,}20$ e $t = 12$ kg/mm² teremos $B = 91{,}68$.

Podemos, portanto, escrever:

$$\omega_1 = 91{,}68\,\frac{272}{86}$$

$$= 290 \text{ mm}^2$$

Empregaremos 6 varões de ø 8 mm, com uma secção total de 302 mm². Prolongaremos estes 6 varões de um extremo ao da lage.

Cálculo das nervuras secundárias.

As nervuras secundárias devem ser calculadas como vigas contínuas de 4 tramos iguais. A carga total, por metro corrente de nervura, é constituída pela carga transmitida pela lage flectindo no sentido $a = 3^m{,}00$, ($p_a = 590$ kg/m²) e pelo pêso próprio arbitrado para a nervura: $0{,}35 \times 0{,}27 \times 2500 = 240$ kg/m. c. ($0^m{,}35$ representa a largura da nervura e 0,27 a sua altura).

A carga total p será portanto igual a $590 \times 3 + 240 = 1770 + 240 = 2010$ kg/mc.

Cálculo dos elementos da secção nos apoios intermédios.

Momento flector máximo negativo:

$$M_B = -\frac{2010 \times \overline{4}^2}{10}$$
$$= -3216 \text{ kgms}$$

Êste momento negativo produz-se na secção do segundo apoio, quando o pavimento está completamente carregado.

Como o momento flector é de sinal negativo, as fibras comprimidas encontram-se na parte inferior da secção (fig. 120). A nervura deverá ser considerada como uma viga de secção rectangular de largura a'.

Altura útil:

$$h = A\sqrt{\frac{M_B}{a'}}$$
$$= 3{,}45\sqrt{\frac{3216}{0{,}35}}$$
$$= 330 \text{ mm (aproximadamente)}$$

Secção das armaduras de encastramento:

$$\omega_B = B\frac{M_B}{h}$$
$$= 95{,}60\,\frac{3216}{330}$$
$$= 930 \text{ mm}^2$$

Empregaremos 6 varões de ø 14 mm, com uma secção total de 924 mm².

Prolongaremos três varões, de um extremo ao outro das nervuras, a-fim-de resistirem aos momentos negativos que se possam dar nos tramos intermédios. Estes varões servirão, também, para assegurar a ligação dos estribos e para resistirem aos momentos de encastramento que se produzem possìvelmente nos apoios extremos. Quanto aos restantes varões serão limitados nos pontos indicados na Tabela X.

Altura total das nervuras (compreendendo a lage):

$$H = 330 + 10 + 14 + 8 + 10 = 372 \text{ mm}$$

(Altura útil + recobrimento de betão + + diâmetro das armaduras da nervura + + diâmetro das armaduras da lage + + recobrimento das armaduras da lage).

Tomaremos com altura total 380 mm.

Altura da nervura: 380 — 110 = 270 mm.

Cálculo dos elementos da secção a meio dos tramos.

A carga total de 2010 kg por mc é composta por uma parte do pêso próprio p_m e por uma parte da sobrecarga p_s:

$$p_m = 3 \times 210 + 240 = 870 \text{ kg/mc}$$
$$p_s = 3 \times 380 = 1140 \text{ kg/m. c.}$$

Momento flector máximo positivo:

$$M_1 = 0{,}80\, p_m\, l^2 + 0{,}10\, p_s\, l^2$$
$$= 0{,}80 \times 870 \times \overline{4}^2 + 0{,}10 \times 1140 \times \overline{4}^2$$
$$= 1070 + 1820 = 2890 \text{ kgms.}$$

Altura h' mais económica:

$$h' = 0{,}34\sqrt{\frac{M_1}{a'}}$$
$$= 0{,}34\sqrt{\frac{2890}{0{,}35}}$$
$$= 30 \text{ cm (aproximadamente)}$$

Conservaremos, no entanto, a altura h' determinada atrás.

Secção das armaduras de flexão a meio dos tramos.

$$\omega_1 = \frac{M_1}{t\left(h - \frac{e}{2}\right)} = \frac{289.000}{1200\left(33 - \frac{11}{2}\right)} = 8{,}75 \text{ cm}^2$$

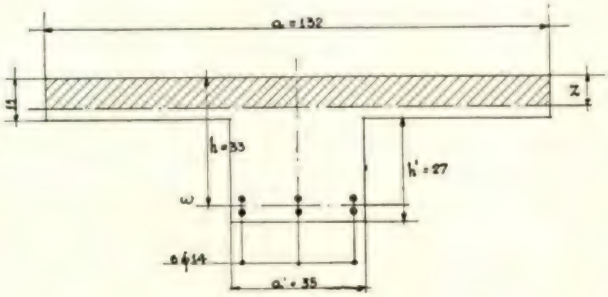


Fig. 121

Empregaremos 6 varões de ø 14 mm, com uma secção total de 924 mm².

Observação

As expressões acima não são aplicáveis senão quando a fibra neutra passa abaixo da face inferior da lage.

A posição da fibra neutra é dada pela expressão (21):

$$z = \frac{\frac{a e^2}{2} + m h}{a e + m}$$

Substituindo os diferentes termos pelos seus valores:

$$e = 11 \text{ cm}$$

$$h = 33 \text{ cm}$$

$$\omega = 9{,}24 \text{ cm}^2$$

A largura a é igual à menor das seguintes quantidades: (¹)

12 vezes a espessura da lage ($12 \times 11 = 132$ cm)
a distância entre nervuras (300 cm)
um têrço do vão das nervuras ($1/3\ 400 = 133$ cm)

Tomaremos a = 132 cm
donde:

$$z = \frac{\frac{132 \times 11^2}{2} + 15 \times 9{,}24 \times 33}{132 \times 11 + 15 \times 9{,}24}$$

$$= 7{,}9 < 11 \text{ cm}$$

A fibra neutra passa acima da face inferior da lage. Torna-se portanto necessário refazer todos os cálculos e aplicar as fórmulas relativas às vigas de secção rectangular.

Altura útil:

$$h = A \sqrt{\frac{M_1}{a}}$$

$$= A \sqrt{\frac{2890}{1{,}32}}$$

O valor do coeficiente A depende da tensão de compressão admitida para o betão. É necessário que a tensão de compressão na lage, devida à flexão no sentido a = 4 m, adicionada à das nervuras secundárias não ultrapasse o limite fixado (²).

Ora, o momento flector máximo positivo na lage, para o vão a = 4 m, tem o valor de 272 kgms.

Podemos portanto escrever:

$$e_{th} = A \sqrt{272} = 86 \text{ mm}$$

donde:

$$A = \frac{86}{\sqrt{272}} = 5{,}20$$

o que corresponde a n = 30 kg/cm² (Tabela I).

Resta para o cálculo da nervura: 50 — 30 = = 20 kg/cm², o que corresponde a A = 7,30 donde:

$$h = 7{,}30 \sqrt{\frac{2890}{1{,}32}} = 340 \text{ mm}$$

Adoptaremos para a altura útil o valor já determinado no cálculo da secção nos apoios intermédios, ou seja 330 mm.

Secção das armaduras de flexão:

$$\omega_1 = B \frac{M}{h}$$

$$= B \frac{2890}{330}$$

O coeficiente B é igual a 89,22 para n = 20 kg/cm² e t = 12 kg/mm² (Tabela I)
donde:

$$\omega_1 = 89{,}22 \frac{28{,}90}{330}$$

$$= 782 \text{ mm}^2$$

Empregaremos 6 varões de ø 14 mm, com uma secção total de 924 mm².

Prolongaremos 3 varões de um extremo ao outro da nervura e limitaremos os restantes nos pontos indicados na Tabela X.

O pormenor das armaduras da lage é dado na fig. 122.

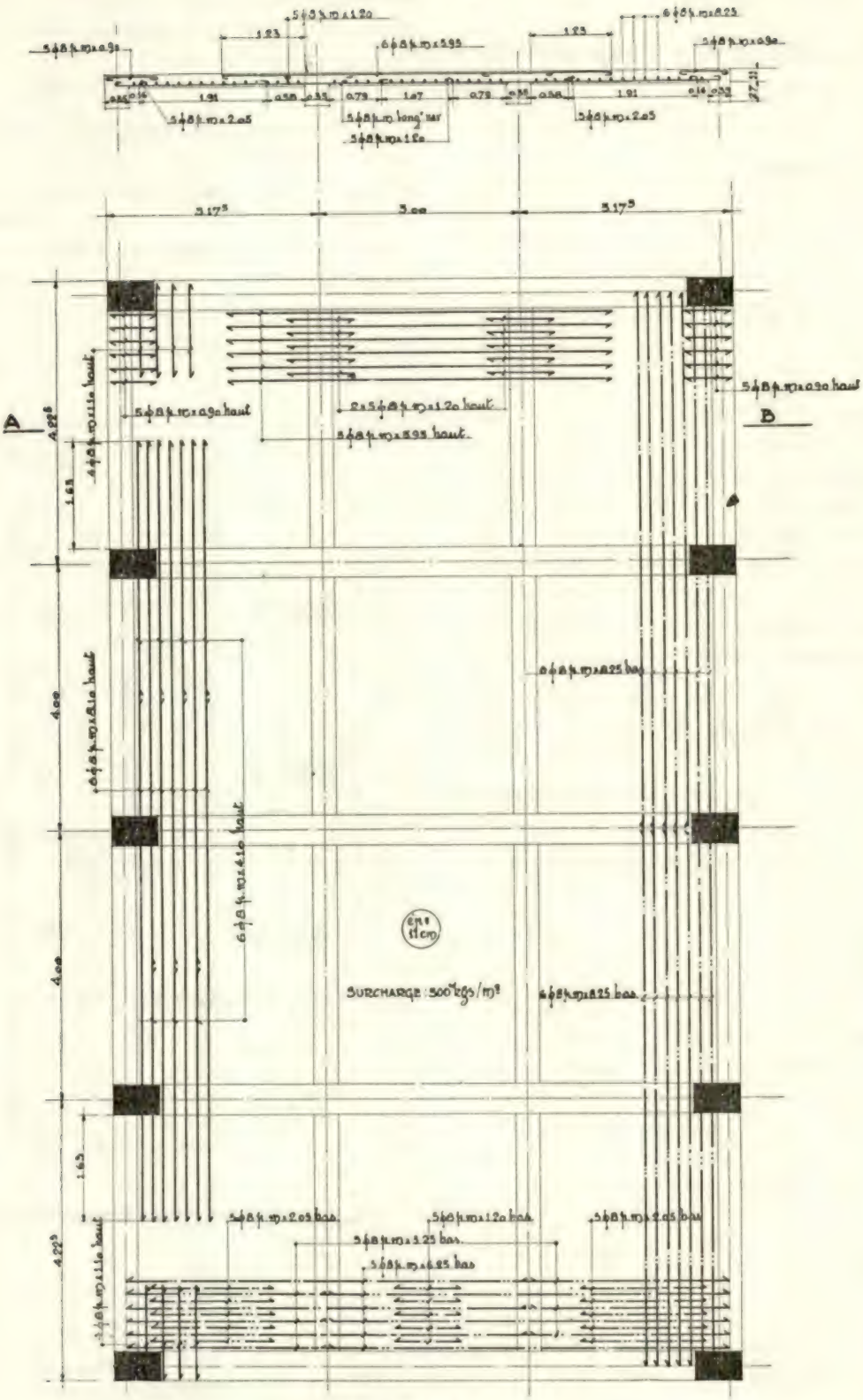
Verificação da resistência ao esfôrço transverso

A tensão de escorregamento longitudinal do betão, em função do esfôrço cortante, é dada pela expressão (36):

(¹) Nesta aplicação numérica foram mantidos os valores indicados nas prescrições belgas, que não são os mesmos que os do R. B. A., como já se indicou. (N. T.)

(²) Vidé nota (¹) da pág. 592. (N. T.)

COUPE A-B.



VUE EN PLAN.

Fig. 122

$$\sigma = \frac{T}{a\,b}$$

Podemos admitir para o esfôrço transverso máximo, na secção dos apoios intermédios, o valor $\frac{5}{8}\,p\,l$.

Teremos, portanto :

$$\sigma = \frac{\frac{5}{8} \times 2010 \times 4}{35\,(0{,}85 \times 38)}$$

$$= 4 \text{ kg/cm}^2 \text{ (aproximadamente)}$$

Teòricamente, não são necessários estribos. No entanto colocaremos alguns estribos de dois ramos de ø 6 mm, espaçados de 20 cm.

Cálculo das nervuras principais.

As nervuras principais e os pilares, devem ser considerados como formando um pórtico solicitado por uma carga uniformemente distribuída, proveniente da lage e por duas cargas concentradas transmitidas pelas nervuras secundárias. Faremos um cálculo completo de um pórtico semelhante no exemplo que se segue.

SEGUNDA APLICAÇÃO NUMÉRICA

Pede-se para calcular os elementos duma plataforma de betão armado, não acessível ao público, suportada por nervuras ortogonais e solicitada por uma sobrecarga uniformemente distribuída de 100 kg/m². O conjunto é representado na fig. 123. A tensão de compressão do betão será de 50 kg/cm² e a tensão de tracção das armaduras de 12 kg/mm². A pressão do vento será considerada igual a 100 kgs.

1) Cálculo da lage

Admitiremos como primeira aproximação, uma espessura para a lage igual a $^1/_{25}$ do vão, isto é $\frac{360}{25} = 15$ cm, aproximadamente.

Pêso próprio por metro quadrado :

lage : 0,15 × 2500	375 kg/m²
asfalto	35 »
betão magro e gravilha	160
revestimento do teto	30
Total	600 kg/m²

Sobrecarga : 100 kg/m²
Carga total :

$$p = p_m + p_s = 600 + 100 = 700 \text{ kg/m}^2$$

Calcularemos a lage para uma tensão de 30 kg/cm², a-fim-de ter em conta a tensão de compressão suplementar devida à flexão das nervuras [1].

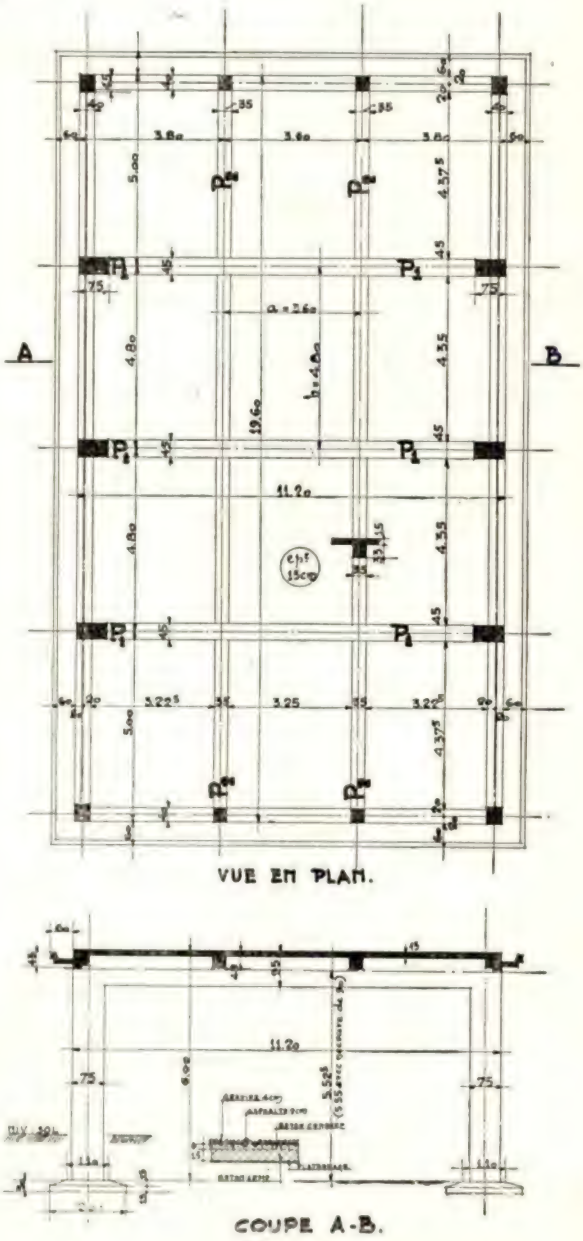


Fig. 123

[1] Vidé nota [1] da pág. 592. (N. T.)

A carga total p divide-se em duas partes p_a e p_b actuando respectivamente segundo os vãos a = 3,60 e b = 4,80.

$$p_a = p \frac{b^4}{a^4 + b^4}$$

$$= 700 \frac{\overline{4,80}^4}{\overline{3,60}^4 + \overline{4,80}^4}$$

$$= 540 \text{ kg/m}^2$$

$$p_b = p - p_a$$

$$= 700 - 530$$

$$= 170 \text{ kg/m}^2$$

No cálculo da flexão no sentido a = 3,60 vamos supor que a lage se apoia sôbre as nervuras secundárias e que as nervuras principais não existem.

No cálculo da flexão no sentido b = 4,80 iremos supor, ao contrário, que a lage se apoia sôbre as nervuras principais e que as secundárias não existem. Voltamos portanto ao caso de uma lage suportada por uma série de nervuras paralelas. Será o cálculo da flexão, no sentido a = 3,60, que determinará a espessura a adoptar. (1)

a) *flexão no sentido a = 3,60. Lage contínua de três vãos iguais.*

Momento flector máximo negativo (fig. 124).

$$M_B = -\frac{p_a a^2}{10}$$

$$= -\frac{530 \times \overline{3,60}^2}{10} = -687 \text{ kgms}$$

Altura útil da lage:

$$e_{th} = A\sqrt{M_B}$$

O coeficiente A = 5,19 para n = 30 kg/cm² e t = 12 kg/mm² (Tabela I) donde:

$$e_{th} = 5,19\sqrt{687}$$

$$= 136 \text{ mm}$$

Secção das armaduras de encastramento colocadas sôbre as nervuras secundárias:

$$\omega_B = B \frac{M_B}{e_{th}}$$

B=91,68 para n=30 kg/cm² e t=12 kg/mm² (Tabela I) donde:

$$\omega_B = 91,68 \frac{687}{136}$$

$$= 465 \text{ mm}^2$$

Empregaremos 10 varões de ø 8 mm, com uma secção total de 502 mm².

Dividiremos estes varões em dois grupos de 5 e limitaremos cada grupo nos pontos indicados na fig. 124. É conveniente não esquecer que o seu comprimento deve ser aumentado de um valor igual à largura das nervuras secundárias, pois a secção de encastramento dêstes varões não está no eixo das nervuras, mas sim na secção que passa pelas faces laterais.

Momento flector máximo positivo:

$$M_1 = 0,08 \times p_a \times a^2$$

$$= 0,08 \times 530 \times \overline{3,60}^2$$

$$= 550 \text{ kgms}$$

Secção das armaduras de flexão:

$$\omega_1 = B \frac{M_1}{e_{th}}$$

$$= 91,68 \frac{550}{136}$$

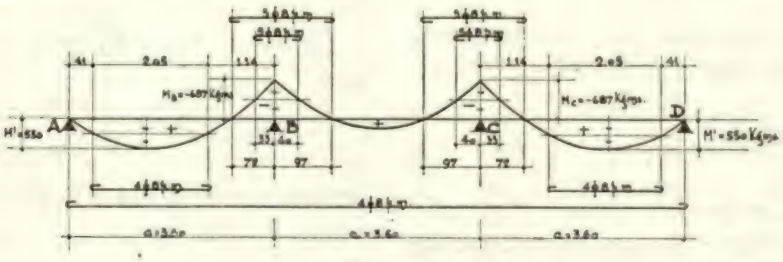


Fig. 124

(1) Vidé nota da pág. 591. (N. T.)

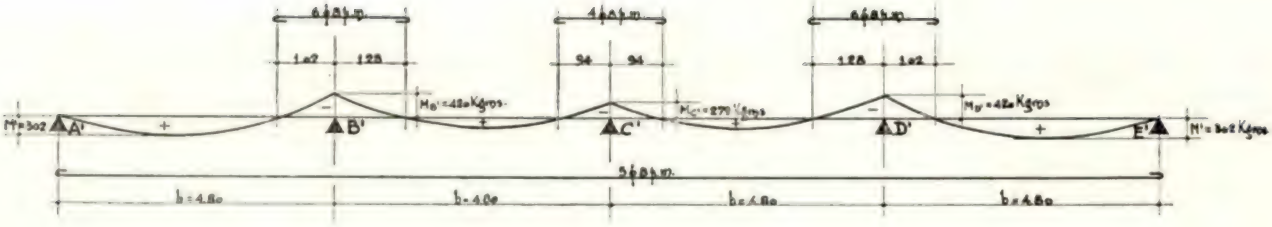


Fig. 125

$$= 370 \text{ mm}^2$$

Empregaremos 8 ø de 8 mm com uma secção total de 402 mm². Dividiremos estes varões em dois grupos de quatro; prolongaremos um grupo de um extremo ao outro da lage e o outro grupo será limitado nos pontos indicados na fig. 124. Sôbre as vigas de bordadura colocaremos 5 varões de ø 8 mm, a-fim-de resistirem aos momentos negativos produzidos pela rigidez destas.

Espessura total da lage:

$$136 + \underset{\substack{\text{raio}\\\text{dos}\\\text{varões}}}{4} + \underset{\text{recobrimento}}{10} = 150 \text{ mm}$$

b) *Flexão no sentido $b = 4{,}80$ m. Lage contínua de 4 vãos iguais.*

Momento flector máximo negativo:

$$M_{B'} = -\frac{p_b\, l^2}{10}$$

$$= -\frac{170 \times 4{,}80^2}{10} = -420 \text{ kgms}$$

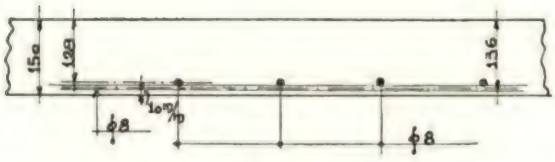


Fig. 126

Secção das armaduras de encastramento colocadas sôbre as nervuras principais:

$$\omega_{B'} = B\,\frac{M_{B'}}{e_{th}}$$

A altura útil e_{th} é igual a 128 mm (fig. 126).

Quanto ao coeficiente B o seu valor depende da tensão de compressão do betão no sentido $b = 4{,}80$.

Ora,

$$e_{th} = A\sqrt{420} = 128 \text{ mm}$$

donde

$$A = \frac{128}{\sqrt{420}} = 6{,}24$$

Consultando a Tabela I podemos determinar, por interpolações, $B = 90{,}24$ para $A = 6{,}26$ e $t = 12$,

donde

$$\omega_{B'} = 90{,}24\,\frac{420}{128}$$

$$= 296 \text{ mm}^2$$

Empregaremos 6 varões de ø 8 mm com uma secção total de 301 mm². Limitaremos estes varões nos pontos em que os momentos negativos são nulos (fig. 125).

Sôbre as vigas de bordadura colocaremos 4 ø de 8 mm, a-fim-de resistirem aos momentos negativos provenientes da rigidez destas vigas.

Secção das armaduras de flexão:

$$\omega_1 = B\,\frac{M_1}{e_{th}}$$

ora, $M_1 = 0{,}077 \times p_b \times b^2$

$$= 0{,}077 \times 170 \times 4{,}80^2 = 302 \text{ kgms}$$

Quanto ao valor B, depende, como já sabemos, da tensão de compressão do betão no sentido $b = 4{,}80$.

Como $e_{th} = A\sqrt{302} = 128$

será

$$A = \frac{128}{\sqrt{302}} = 7{,}40$$

determinando o valor B, por interpolação, teremos: $B = 88{,}64$

e $$\omega_1 = 88{,}64\,\frac{302}{128} = 210 \text{ mm}^2$$

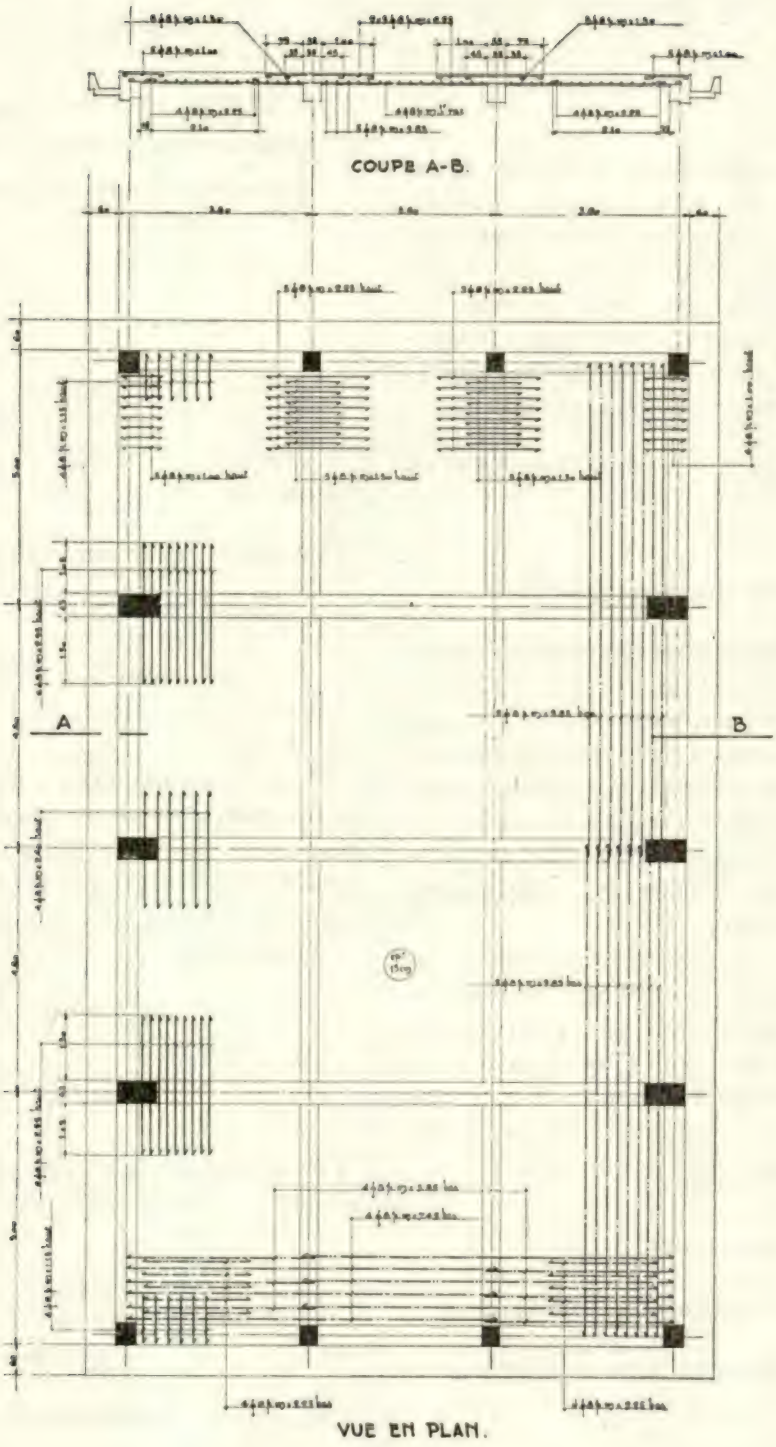


Fig. 127

Empregaremos 5 varões de ϕ 8 mm, por metro corrente, com uma secção total de 251 mm². (¹) Prolongaremos estes varões de um extremo ao outro da lage.

Os pormenores das armaduras da lage são dados na fig. 127.

Observação

Poderíamos ter calculado a secção das armaduras de flexão e de encastramento com um coeficiente B = 91,68 correspondendo ao limite n = 30 kg/cm² que tinha sido imposto. Teríamos assim cometido um pequeno êrro por excesso, mas em compensação teríamos simplificado os cálculos. Para a secção das armaduras de flexão teríamos, por exemplo, obtido:

$$\omega_1 = 91{,}68 \frac{302}{128} = 216 \text{ mm}^2 \text{ (em lugar de } 210 \text{ mm}^2)$$

2) Cálculo das nervuras secundárias

As nervuras secundárias devem ser calculadas como vigas contínuas de quatro tramos. Vamos supor, para simplificar os cálculos, que os dois apoios extremos são livres. No entanto, nas secções dêstes apoios colocaremos armaduras de encastramento tendo como secção metade da das armaduras colocadas sôbre os apoios intermédios e com um comprimento igual a um quinto vão.

A carga total p, por metro corrente de nervura, é composta pela carga transmitida pela lage (p = 530 kg/m²) e pelo pêso próprio arbitrado para a nervura. Para o cálculo do pêso próprio da nervura, contaremos com uma largura de 35 cm e com uma altura igual a 1/10 do vão. $\left(\frac{480}{10} = 48 \text{ cm}\right)$

Pêso próprio da nervura:

$$0{,}35 \times (0{,}48 - 0{,}15)\ 2500 = 290 \text{ kg/m. c.}$$

Entraremos igualmente com o revestimento da nervura:

$$\left(2\,(0{,}48 - 0{,}15) + 0{,}35\right) 30 = 30 \text{ kg/m. c.}$$

(¹) O número de varões não está de acôrdo com o R. B. A., artigo 29.º (N. T.)

Carga total por metro corrente:

$$p = (530 \times 3{,}60) + 290 + 30$$
$$= 1910 + 290 + 30$$
$$= 2230 \text{ kg/m. c.}$$

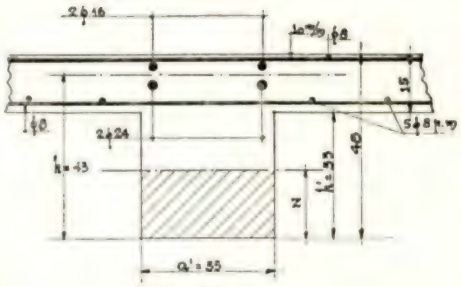


Fig. 128

Cálculo dos elementos da secção nos apoios intermédios.

Momento flector máximo negativo:

$$M_B = -\,0{,}107\ pl^2$$
$$= -\,0{,}107 \times 2230 \times \overline{4{,}80}^2$$
$$= -\,5510 \text{ kgms}$$

Como êste momento é de sinal negativo, as fibras comprimidas encontram-se na parte inferior da secção (fig. 128). A nervura deverá ser considerada como uma viga de secção rectangular, de largura a = 35 cm.

Altura útil:

$$h_{th} = A \sqrt{\frac{M_B}{a'}}$$
$$= A \sqrt{\frac{5510}{0{,}35}}$$

O coeficiente A = 3,45 para n = 50 kg/cm² e para t = 12 kg/mm² (Tabela I) donde:

$$h_{th} = 3{,}45 \sqrt{\frac{5510}{0{,}35}}$$
$$= 430 \text{ mm}$$

Secção das armaduras de encastramento:

$$\omega_B = \frac{M_B}{h_{th}}$$
$$= 95{,}60 \frac{5510}{430} = 1243 \text{ mm}^3$$

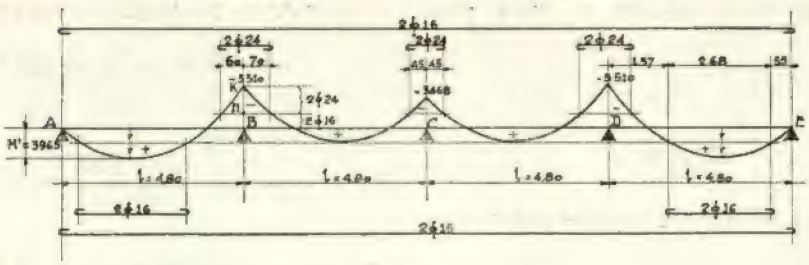


Fig. 129

Podíamos realizar esta secção com 4 varões de igual diâmetro. É preferível, no entanto, empregar dois varões de maior diâmetro e e dois varões de menor diâmetro, que serão prolongados de um extremo ao outro da nervura, para assegurarem a fixação dos estribos. Os varões de maior diâmetro serão limitados nos pontos em que deixam de ser necessários. No nosso caso, empregaremos 2 varões de ϕ 16 mm e 2 varões de ϕ 24 mm com uma secção total de 1307 mm². Os dois varões de 16 mm serão prolongados de um extremo ao outro da nervura. Para determinar o comprimento a dar aos varões de 24 mm, bastará dividir a ordenada BK (fig. 129), representativa do momento negativo considerado, em duas partes BN e NK, respectivamente proporcionais às secções dos dois varões de 16 e dos dois varões de 24, e traçar uma horizontal pelo ponto de divisão N. Esta horizontal, cortará a curva dos momentos flectores em pontos, que projectados sôbre o eixo da viga, determinarão os limites dos varões de 24 mm.

Altura total da nervura (compreendendo a lage):

$$H = 430 + 10 + 16 + 8 + 10 = 474 \text{ mm},$$
ou seja 480 mm

Altura da nervura:

$$h' = 480 - 150 = 330 \text{ mm}.$$

Cálculo dos elementos da secção a meio dos tramos.

O momento flector máximo (positivo) produz-se a meio, sensìvelmente, do primeiro e último tramos e tem o valor:

$$M_1 = 0{,}077\ pl^2$$
$$= 0{,}077 \times 2230 \times \overline{4{,}80}^2 = 3965 \text{ kgms}$$

Altura h' mais conómica:

$$h' = C\sqrt{\frac{M_1}{a_1}} = 0{,}34\sqrt{\frac{3965}{0{,}35}} = 36 \text{ cm}.$$

Conservaremos no entanto a altura h' = 43 cm determinada pelo cálculo das dimensões da nervura sôbre os apoios intermédios.

Secção das armaduras de flexão a meio dos tramos:

$$\omega_1 = \frac{M_1}{t\left(h - \frac{e}{2}\right)} = \frac{396500}{1200\left(\frac{43-15}{2}\right)} = 967 \text{ mm}^2$$

Empregaremos 4 varões de ϕ 18 mm com uma secção total de 1018 m².

Observação

As expressões acima empregadas só são verdadeiras se a fibra neutra passar abaixo da face inferior da lage.

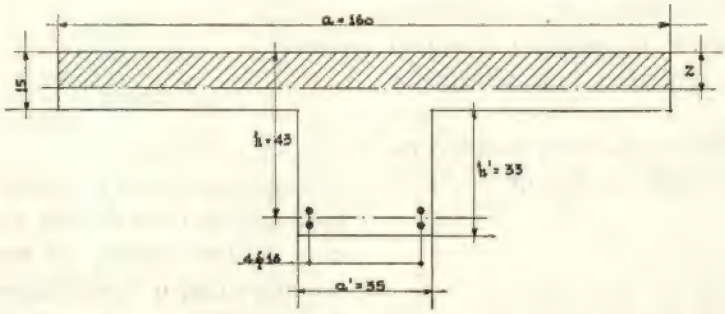


Fig. 130

A posição da fibra neutra é dada pela expressão (21):

$$z = \frac{\frac{ae^2}{2} + m\omega h}{ae + m\omega}$$

Substituindo os diferentes termos pelos seus valores:

$$e = 15 \text{ cm}$$
$$h = 43 \text{ cm}$$
$$\omega = 10{,}18 \text{ cm}^2$$
$$m = 15$$

A largura a será igual ao menor dos seguintes valores: (1)

12 vezes a espessura da lage ($12 \times 15 = 180$ cm)
a distância entre nervuras (3,60)
um terço do vão da nervura $\left(\frac{4{,}80}{3} = 1{,}60 \text{ m}\right)$

Tomaremos $n = 1{,}60$ m.
donde:

$$z = \frac{\frac{160 \times 15^2}{2} + 15 \times 10{,}18 \times 43}{160 \times 15 + 15 \times 10{,}18} = 9{,}5 < 15 \text{ cm}$$

A fibra neutra passa acima da face inferior da lage. Torna-se portanto necessário refazer todos os cálculos e aplicar as expressões relativas às vigas de secção rectangular.

Altura útil:

$$h = A\sqrt{\frac{M_1}{a}}$$
$$= A\sqrt{\frac{3965}{1{,}60}}$$

O valor do coeficiente A depende da tensão de compressão admitida para o betão. É necessário que a soma das tensões de compressão na lage, devidas à flexão no sentido $b = 4{,}89$ e à das nervuras secundárias, não ultrapasse 50 kg/cm². (2)

Ora, o momento flector máximo positivo na lage, no sentido $b = 4{,}80$ m, tem como valor 302 kgms.

(1) Vidé nota (1) da pág. 596. (N. T.)
(2) Vidé nota (1) da pág. 592. (N. T.)

Podemos portanto escrever:

$$e_{th} = A\sqrt{302} = 128 \text{ (fig. 126)}$$

donde:

$$A = \frac{128}{\sqrt{302}} = 7{,}40$$

o que corresponde a $n = 17$ kg/cm².

Para o cálculo da nervura teremos:

$$50 - 17 = 33 \text{kg/cm}^2$$

O coeficiente $A = 5{,}70$ para $n = 33$ kg/cm² e $t = 12$ kg/cm² donde

$$h = 5{,}70\sqrt{\frac{3965}{1{,}60}} = 284 \text{ mm}$$

Adoptaremos para altura útil o mesmo valor que se obteve no cálculo da secção nos apoios intermédios, isto é 430 mm.

Secção das armaduras de flexão:

$$\omega_1 = B\frac{M_1}{h}$$
$$= B\frac{3965}{430}$$

O valor do coeficiente B depende do de A.

Ora, $h = A\sqrt{\frac{3965}{1{,}60}} = 430$ mm

donde:

$$A = \sqrt{\frac{430}{\frac{3965}{1{,}60}}} = 8{,}60$$

Por interpolações, teremos na Tabela I:

$$B = 86{,}93 \text{ para } A = 8{,}60 \text{ e } t = 12$$

donde:

$$\omega_1 = 86{,}93\frac{3965}{430} = 800 \text{ mm}^2$$

Empregaremos 4 varões de ø 16 mm, com uma secção total de 804 mm². Prolongaremos, dois dêstes varões, de um extremo ao outro das nervuras e limitaremos os restantes, nos pontos indicados na figura 129.

3) Cálculo das nervuras principais

Vamos calcular as nervuras principais e os pilares, como pórticos de travessa horizontal, cujos pés direitos são encastrados ao nível das fundações (fig. 131).

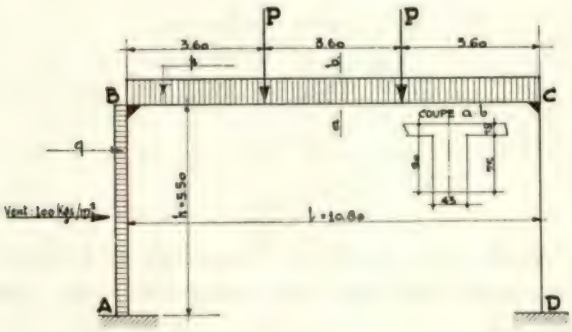


Fig. 131

As dimensões dos pilares não são conhecidas e por isso tomaremos como vão do pórtico a distância compreendida entre eixos das vigas de bordadura, em vez de considerar-mos a distância entre eixos dos pilares.

As fôrças que actuam sôbre o pórtico são as seguintes:

1.º) Pêso próprio da nervura principal e carga transmitida pela lage no sentido b = 4,80

Para a determinação do pêso próprio vamo-nos basear, como primeira aproximação, numa altura total compreendida entre 1/10 e 1/15 do vão. Tomando o valor médio teremos:

$$\frac{1080}{12,5} = 90 \text{ cm (aproximadamente)}$$

Pêso próprio da nervura (fig. 131): $0,45 \times 0,75 \times 2500 = \ldots$	844 kg/m. c.
Carga transmitida pela lage: $170 \times 4,80$	816 »
Revestimento da nervura: $(0,75 \times 2 + 0,45)\ 30$.....	60 »
Total.....	1720 kg/m. c.

É mais exacto, no entanto, calcular a carga *p*, como a seguir indicamos, fazendo intervir a largura da nervura (fig. 132):

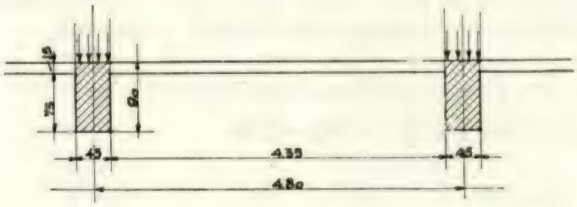


Fig. 132

Carga transmitida pela lage: $170 \times 4,35$	740 kg/m. c.
Pêso próprio da nervura: $0,90 \times 0,45 \times 2500$	1010 »
Revestimento da nervura: $(2 \times 0,75 + 0,45)\ 30$.....	60 »
Sobrecarga sôbre a nervura: $0,45 \times 100$	45 »
Betão magro, gravilha e asfalto sôbre a nervura: $0,45\ (160 + 35)$.....	85 »
Total.....	p = 1940 kg/m. c.

É com êste último valor que entraremos no cálculo dos momentos flectores.

2.º) Duas cargas concentradas transmitidas pelas nervuras secundárias:

$$P = 2230 \times (4,80 - 0,45) = 9700 \text{ kg.}$$

(descontamos a carga que actua directamente sôbre a nervura principal).

3.º) Pressão do vento sôbre a fachada:

$$q = 100 \times 4,80 = 480 \text{ kg/m. c.}$$

Os três grupos de fôrças, que acabamos de determinar, dão origem no pórtico a momentos flectores.

Os diagramas dos momentos flectores, nos pórticos de travessa horizontal solicitados por cargas verticais ou horizontais, são dados num anexo no fim desta obra; o leitor encontrará também, as expressões que dão os valores dos máximos momentos positivos e negativos.

1.º) Carga uniformemente distribuída $p = 1940$ *kg/m. c.* (fig. 133).

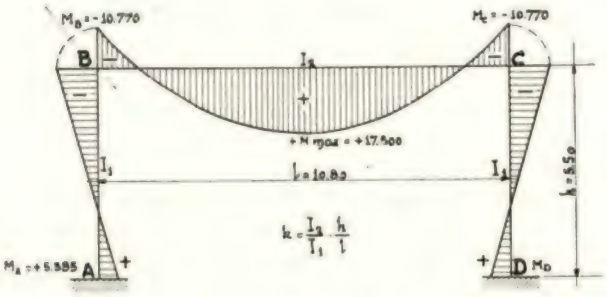


Fig. 133

$$M_A = M_D = + \frac{p\,l^2}{12\,(k+2)}$$

$$M_B = M_C = - \frac{p\,l^2}{6\,(k+2)}$$

$$M_{max} = \frac{p\,l^2}{8} - M_B \text{ (em valor absoluto)}$$

O coeficiente k, que figura nas expressões acima indicadas, tem o seguinte valor:

$$k = \frac{I_2}{I_1} \cdot \frac{h}{l}$$

em que:

h — representa a altura do pórtico, isto é, a distância entre o eixo da nervura principal e o nível das fundações (5,50 m);

l — representa o vão da nervura principal, isto é, a distância entre eixos dos pilares. Como não conhecemos as dimensões dos pilares tomaremos, como já dissémos, a distância entre eixos das vigas de bordadura. (10,80 m);

I_1 — representa o momento de inércia dos pilares. Tomaremos, como primeira aproximação, uma secção igual à da nervura, isto é, 75×45 cm (fig. 134).

No cálculo do momento de inércia deve-se ter em conta toda a secção de betão, tanto tendida como comprimida, ao contrário do que se faz no cálculo das tensões, ou na determinação dos elementos de uma secção.

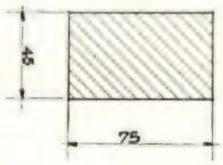


Fig. 134

Além disso podemos desprezar as armaduras, uma vez que não conhecemos as suas secções.

Teremos portanto:

$$I_1 = \frac{45 \times \overline{75}^3}{12} = 1.582.000 \text{ cm}^4$$

Pelo que diz respeito ao cálculo do momento de inércia das nervuras principais, poderemos interessar uma largura de lage igual à menor das seguintes dimensões: (1)

1.º) 12 vezes a espessura da lage (12×15 = = 180 cm)

2.º) a distância entre as nervuras principais (4,80)

3.º) um terço do vão das nervuras $\left(\frac{10,80}{3} = \right.$ $\left. = 3,60\right)$.

Antes de calcular o momento de inércia das

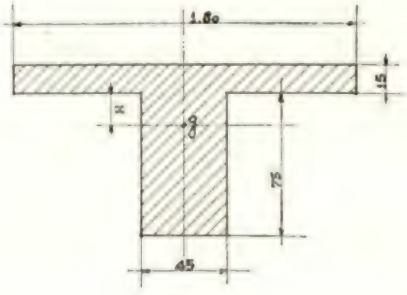


Fig. 135

nervuras, devemos primeiro determinar a posição do seu centro de gravidade G, (fig. 135).

(1) Vidé nota (1) da pág. 596. (N. T.)

Para isso, bastará considerar que o momento estático da secção, em relação a êste ponto, é nulo:

$$180 \times 15\left(\frac{15}{2} + x\right) + 45 \times \frac{x^2}{2} - 45\,\frac{(75-x)^2}{2} = 0$$

ou:

$$20.250 + 2.700\,x + 22{,}5\,x^2 - 126.562 - 22{,}5\,x^2 + 3.375\,x = 0$$

ou ainda:

$$6.075\,x = 106.312$$

donde:

$$x = \frac{106.312}{6.075} = 17{,}5 \text{ cm.}$$

Momento de inércia da nervura:

$$I_2 = \frac{180 \times \overline{15}^3}{12} + 180 \times 15 \times \left(17{,}5 + \frac{15}{2}\right)^2 + \frac{45 \times \overline{17{,}5}^3}{3} + 45\,\frac{(75 - 17{,}5)^3}{3}$$

$$= 50.625 + 1.687.500 + 80.400 + 2.851.650 = 4.670.175 \text{ cm}^4$$

donde:

$$k = \frac{I_2}{I_1} \cdot \frac{h}{l} = \frac{4.670.175}{1.582.000} \cdot \frac{5{,}50}{1.080} = 1{,}50$$

Podemos agora, calcular o valor dos momentos flectores máximos positivos e negativos, devidos à carga uniformemente distribuída (fig. 133):

$$M_A = M_D = +\frac{p\,l^2}{12\,(k+2)} = \frac{1940 \times \overline{10{,}80}^2}{12\,(1{,}50+2)} = 5.835 \text{ kms}$$

$$M_B = M_C = -\frac{p\,l^2}{6\,(k+2)} = -\frac{1940 \times \overline{10{,}80}^2}{21} = -10.770 \text{ kgms}$$

$$M_{max} = \frac{p\,l^2}{8} - M_B = \frac{1940 \times \overline{10{,}80}^2}{8} - 10.770 = 17.500 \text{ kgms}$$

2.º) *Cargas concentradas transmitidas pelas nervuras secundárias:*

$$P = 9700 \text{ kg.}$$

$$M_A = M_D = \frac{2\,P\,l}{9\,(k+2)} = \frac{2 \times 9.700 \times 10{,}80}{9\,(1{,}50+2)} = 6.650 \text{ kgms}$$

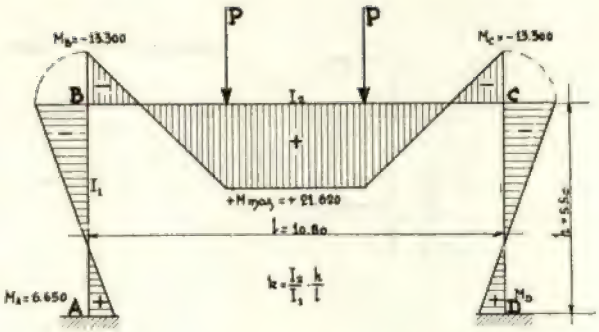


Fig. 136

$$M_B = M_C = -\frac{4\,P\,l}{9\,(k+2)} = -\frac{4 \times 9.700 \times 10{,}80}{9\,(1{,}50+2)} = -13.300 \text{ kgms}$$

$$M_{max} = \frac{P\,l}{9} \cdot \frac{3\,k+2}{k+2} = \frac{9.700 \times 10{,}80}{9} \cdot \frac{3 \times 1{,}50 + 2}{1{,}50+2} = 21.620 \text{ kgms}$$

3.º) *pressão do vento:* $q = 480$ kg/m. c.

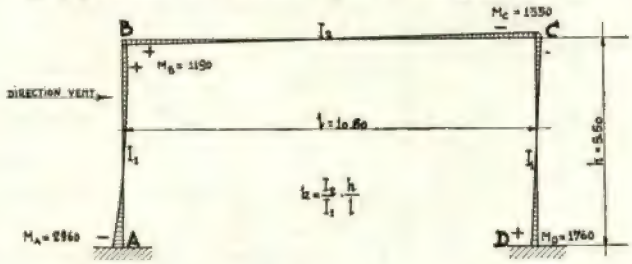


Fig. 137

$$M_A = -\frac{q\,h^2}{24}\left(12 - \frac{5\,k+9}{k+2} - \frac{16\,k}{6\,k+1}\right) = -\frac{480 \times \overline{5{,}50}^2}{24}\left(12 - \frac{5 \times 1{,}50 + 9}{1{,}50+2} - \frac{16 \times 1{,}50}{6 \times 1{,}50 + 1}\right) = 2.960 \text{ kgms}$$

$$M_B = M_A - \frac{q\,h^2}{8} \cdot \frac{2\,k+3}{k+2} + \frac{q\,h^2}{2} = -2960 - \frac{480 \times \overline{5{,}50}^2}{8} \cdot \frac{2 \times 1{,}50 + 3}{1{,}50+2} + \frac{480 \times \overline{5{,}50}^2}{2} = -2960 - 3110 + 7260 = 1.190 \text{ kgms}$$

$$M_D = \frac{q\,h^2}{24}\left(\frac{5\,k+9}{k+2} - \frac{12\,k}{6\,k+1}\right) = \frac{480 \times \overline{5{,}50}^2}{24}\left(\frac{5 \times 1{,}50 + 9}{1{,}50+2} - \frac{12 \times 1{,}50}{6 \times 1{,}50 + 1}\right) = 1.760 \text{ kgms.}$$

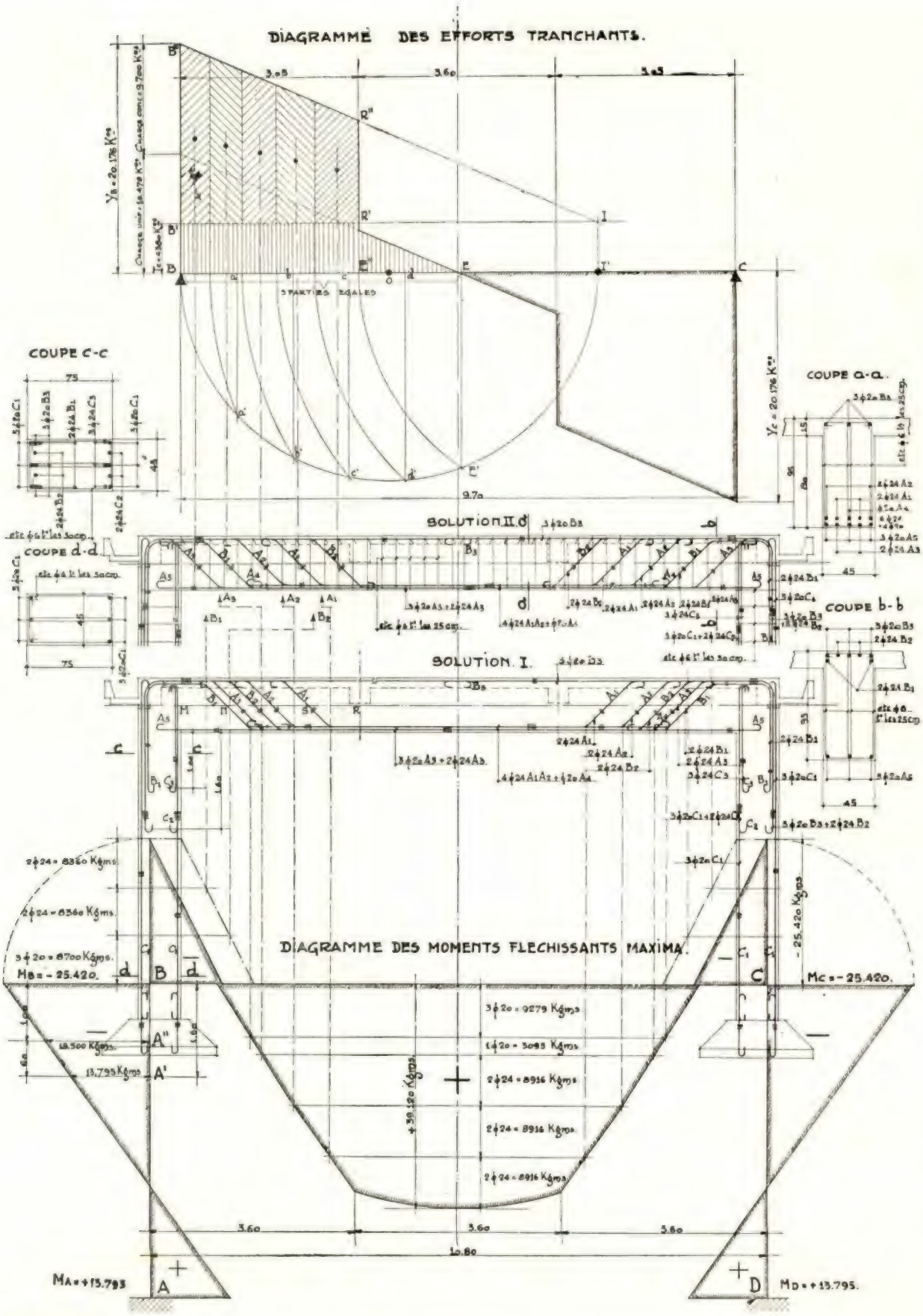


DIAGRAMME DES EFFORTS TRANCHANTS.
3 PARTIES EGALES
COUPE C-C
COUPE a-a.
COUPE d-d
COUPE b-b
SOLUTION II.d
SOLUTION. I.
DIAGRAMME DES MOMENTS FLECHISSANTS MAXIMA.
MB = - 25.420.
MC = - 25.420.
MA = + 13.795
MD = + 13.795.
- 25.420 Kgms
+ 39.120 Kgms
18.500 Kgms
13.795 Kgms
3.60
3.60
3.60
10.80
9.70

Fig. 138

$$M_C = M_D - \frac{q\,h^2}{8} \cdot \frac{2\,k+3}{k+2} = 1.760 -$$

$$- \frac{480 \times \overline{5{,}50}^2}{8} \cdot \frac{2 \times 1{,}50 + 3}{1{,}50 + 2} =$$

$$= 1.760 - 3.110 = -1.350 \text{ kgms.}$$

Momentos flectores máximos (fig. 138)

O momento flector, no ponto A, é máximo quando o vento sopra da direita para a esquerda:

$$M_A = \underset{\text{c. unif}^e}{5.385} + \underset{\text{c. conc.}}{6.650} + \underset{\text{vento}}{1.760} = 13.795 \text{ kgms}$$

O momento flector no ponto B, é igualmente máximo quando o vento sopra da direita para a esquerda:

$$M_B = \underset{\text{c. unif}^e}{-10.770} - \underset{\text{c. conc.}}{13.300} - \underset{\text{vento}}{1.350} = -25.420 \text{ kgms}$$

Mas por outro lado:

$$M_D = M_A = 13.795 \text{ kgms}$$
$$M_C = M_B = 25.420 \text{ kgms}$$

Quanto ao momento positivo a meio da nervura, êste é máximo quando o vento fôr nulo:

$$M_1 = \underset{\text{c. unif}^e}{17.500} + \underset{\text{c. conc.}}{21.620} = 39.120 \text{ kgms}$$

Adicionando os diagramas dos momentos flectores, devidos à carga uniformemente distribuida (fig. 133), às duas cargas concentradas (fig. 136) e à pressão do vento (fig. 137), obteremos a curva dos momentos flectores máximos, representada na figura 138.

CÁLCULO DOS ELEMENTOS DA NERVURA PRINCIPAL

Secção no apoio (fig. 139).

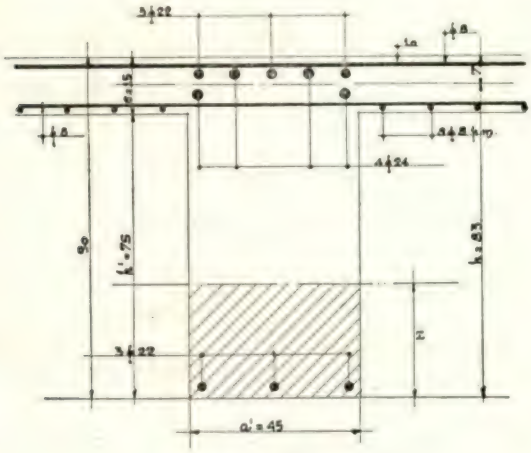


Fig. 139

Momento flector máximo:

$$M_B = -25.420 \text{ kgms}$$

Altura útil (expressão 16):

$$h = A\sqrt{\frac{M_B}{a_1}} = 0{,}45\sqrt{\frac{25.420}{0{,}45}} = 830 \text{ mm}$$

Tomaremos como altura total 900 mm.

Altura da nervura:

$$h' = 900 - 150 = 750 \text{ mm.}$$

Secção das armaduras de encastramento (expressão 17):

$$\omega = B\,\frac{M_B}{h} = 95{,}60\,\frac{25.420}{830} = 2960 \text{ mm}^2$$

Empregaremos 3 ø de 22 mm + 4 ø de 24 mm.

Secção a meio (fig. 140).

Momento flector máximo positivo:

$$M_1 = 39.120 \text{ kgms}$$

Altura h' mais económica (expressão 28):

$$h' = 0{,}34\sqrt{\frac{M_1}{a_1}} = 0{,}34\sqrt{\frac{39.120}{0{,}45}} = 70 \text{ cm.}$$

Vamos, no entanto, conservar a mesma altura que no apoio, isto é 75 cm.

Secção das armaduras de flexão (expressão 27):

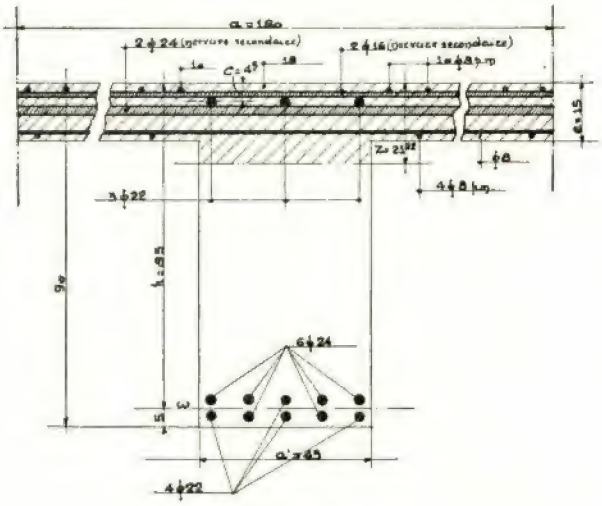


Fig. 140

$$\omega = \frac{M_1}{t\left(h - \frac{e}{2}\right)} = \frac{3.912.000}{1200\left(85 - \frac{15}{2}\right)} = 42{,}61 \text{ cm}^2$$

Vamos empregar 4 ϕ 22 + 6 ϕ 24 (42,40 cm²).

Verificação da posição da fibra neutra (expressão 20):

$$z = \frac{-(a\,e - a'\,e + m\,\omega' + m\,\omega)}{a'} +$$

$$+ \frac{\sqrt{(ae - a'e + m\omega' + m\omega)^2 + 2a'\left(\frac{a\,e^2}{2} - \frac{a'\,e^2}{2} + m\omega' c + m\omega h\right)}}{a'}$$

em que $a = 180$ cm (fig. 140)
$a' = 45$ cm
$e = 15$ cm
$h = 85$ cm
$m = 15$ cm
$\omega = 42{,}40$ cm²
$\omega' = 11{,}40$ cm²
$c = 4{,}5$

donde:

$$z = \frac{\overbrace{-(180 \times 15 - 45 \times 15 + 15 \times 11{,}40 + 15 \times 42{,}40)}^{K}}{45} +$$

$$+ \frac{\sqrt{(K)^2 + 2 \times 15\left(\frac{180 \times 15^2}{2} - \frac{45 \times 15^2}{2} + 15 \times 11{,}4 \times 4{,}5 + 15 \times 42{,}40 \times 85\right)}}{45} =$$

$$= \frac{-(2700 - 675 + 171 + 639)}{45} +$$

$$+ \frac{\sqrt{(2700 - 675 + 171 + 639)^2 + 90\,(20.250 - 5.062 + 771 + 54.315)}}{45} =$$

$$= \frac{-2835 + \sqrt{(2835)^2 + 90 \times 70.274}}{45} =$$

$$= 21{,}22 \text{ cm} > 15 \text{ cm}.$$

A fibra neutra cai portanto fora da lage.

Verificação da tensão de compressão do betão (expressão 22):

$$n = \frac{M\,z}{\left(\frac{ae^3}{12} + ae\left(z - \frac{e}{2}\right)^2 + \frac{a'\,(z - e)^3}{3} + m\,\omega'\,(z - c)^2 + m\,\omega\,(h - z)^2\right)} =$$

$$= \frac{3.912.000 \times 21{,}22}{\left(\frac{180 \times 15^3}{12} + 180 \times 15\left(21{,}22 - \frac{15^2}{2}\right) + \frac{45\,(21{,}22 - 15^2)}{3} + 15 \times 11{,}4\,(21{,}22 - 4{,}5)^2 + 15 \times 42{,}40\,(85 - 21{,}22)^2\right)} = \frac{3.912.000 \times 21{,}22}{} = 25{,}50 \text{ kg/cm}^2$$

Torna-se necessário adicionar a esta tensão de compressão, a tensão devida à flexão da lage no sentido $a = 3^m{,}60$, isto é 30 kg/cm² (¹)

(¹) Vidé nota (¹) da pág. 592. (N. T.)

Teremos portanto um total: $30 + 25{,}5 = 55{,}50$ kg/cm².

Como a tensão de compressão ultrapassa o limite de 50 kg/cm², vamos aumentar um pouco a altura da nervura e adoptaremos definitivamente $h' = 80$ cm, o que nos dá uma altura total de $80 + 15 = 95$ cm. Como esta altura é pouco diferente da que adoptamos no cálculo do momento de inércia e para a determinação do pêso próprio, não se torna necessário recomeçar de novo os cálculos.

A secção das armaduras de flexão passará a ser então:

$$\omega = \frac{M}{t\left(h - \frac{e}{2}\right)} = \frac{3.912.000}{1200\left(90 - \frac{15}{2}\right)}$$

$$= 39{,}51 \text{ cm}^2.$$

Empregaremos 4 ø de 20 mm + 6 ø de 24 mm (39,70 cm²), em vez de 4 ø de 22 mm + 6 ø de 24 mm empregados anteriormente.

Quanto às armaduras de encastramento, a sua secção será igual a:

$$\omega = B\frac{M}{h} = 95{,}60\,\frac{25400}{880} = 2750 \text{ mm}^2$$

Empregaremos 3 ø de 20 mm + 4 ø de 24 mm (27,51 cm²), em vez de 3 ø de 22 mm + 4 ø de 24 mm empregados anteriormente.

Comprimento a dar às armaduras de flexão (4 ø 20 mm + 6 ø 24 mm).

Vamos decompor as armaduras de flexão em 5 grupos ou seja: um grupo de 3 varões de ø 20 mm, três grupos de 2 varões de 24 mm e finalmente um varão isolado de ø 20 mm.

Prolongaremos de um extremo ao outro da nervura o grupo de 3 varões de ø 20 mm e limitaremos os restantes grupos, nos pontos indicados pelo diagrama dos momentos flectores (fig. 138). Para determinar estes pontos, basta dividir a ordenada que representa o momento flector máximo positivo (39.120 kgms), em cinco partes proporcionais às secções dos cinco grupos considerados e traçar horizontais pelos pontos de divisão. Estas horizontais cortarão a curva dos momentos em pontos que, projectados sôbre o eixo da viga, determinam os limites de cada grupo.

Para se dividir a ordenada representativa do momento flector máximo positivo em cinco partes proporcionais às secções dos cinco grupos de varões, procederemos da forma seguinte:

4 varões de ø 20 mm + 6 varões de ø 24 mm resistem a 39.120 kgms com uma secção total de 39.70 mm²,

logo

$$1 \text{ mm}^2 \text{ resistirá } \frac{39120}{3970} = 9{,}85 \text{ kgms}$$

e portanto

$$3 \text{ ø } 20 \text{ mm} = 942 \text{ mm}^2$$
$$1 \text{ ø } 20 \text{ mm} = 314 \text{ mm}^2$$
$$2 \text{ ø } 24 \text{ mm} = 905 \text{ mm}^2$$

resistirão, respectivamente, a

$$9{,}85 \times 942 = 9.279 \text{ kgms}$$
$$9{,}85 \times 314 = 3.093 \text{ kgms}$$
$$9{,}85 \times 905 = 8.916 \text{ kgms}$$

Comprimento a dar às armaduras de encastramento (3 ø 20 mm + 4 ø 24 mm).

Vamos decompor as armaduras de encastramento em três grupos assim constituídos: um grupo de 3 varões de ø 20 mm e dois de 2 varões de ø 24 mm.

Prolongaremos de um extremo ao outro da nervura o grupo de 3 varões de ø 20 mm e limitaremos os restantes, nos pontos indicados no diagrama dos momentos flectores (fig. 138). Para determinar estes pontos procederemos como para as armaduras de flexão. É conveniente não esquecer, que o comprimento das armaduras de encastramento deve ser contado a partir da secção de encastramento, isto é, da face interior dos pilares (ver o diagrama dos momentos negativos).

Verificação da resistência ao esfôrço transverso.

A tensão do betão ao escorregamento longitudinal é dada em função do esfôrço transverso, pela expressão (36):

$$\sigma = \frac{T}{a\,b}$$

na qual:

a = largura da nervura
= 45 cm

b = braço do binário das fôrças elásticas
= 0,85 × 95 = 80,75 cm

T = esfôrço transverso máximo ou seja:

$$T = 9700 + \frac{1940 \times 10{,}80}{2}$$

= 20.176 kgs

donde:

$$\sigma = \frac{20.176}{45 \times 80{,}75} = 5{,}55 \text{ kg/cm}^2 > 4 \text{ kg/cm}^2$$

Como a tensão de escorregamento do betão é superior a 4 kg/cm², torna-se necessário prever estribos completados por varões inclinados.

Os varões inclinados serão obtidos dobrando as armaduras de flexão (3 grupos de 2 ø de 24 mm) e as armaduras de encastramento (3 grupos de 2 ø de 24 mm). Os pontos em que se dobram estes varões são dados pelo diagrama dos momentos flectores (fig. 138). Obteremos assim, a disposição indicada na figura 138 (solução I). O problema resume-se então em completar estes varões levantados por meio de estribos. Examinando a figura 138 (solução I) constata-se que em certas zonas os varões levantados estão muito próximos e que noutras zonas estão, ao contrário, muito afastados.

Se quisermos manter esta disposição, teremos que colocar estribos muito próximos nas zonas (MN e SR) em que o afastamento é superior ao braço de alavanca do binário elástico. Para obter uma distribuïção de varões levantados mais uniforme, é preferível, no nosso caso, arbitrar a secção e o passo dos estribos e determinar em seguida os afastamentos dos varões levantados.

Empregando, por exemplo, estribos de 4 tramos de ø 6 mm espaçados de 25 cm, o esfôrço transverso, a que podem resistir, será dado pela expressão (37):

$$T_e = \frac{s\,t\,b}{d}$$

na qual:

s = secção de um estribo de 4 ramos de ø 6 mm = 4 × 28 = 112 mm²
t = limite de fadiga à tracção 12 kg/mm²
b = braço de alavanca do binário das fôrças elásticas = 0,85 × 950 = 807,5 mm
d = distância entre estribos = 250 mm

donde:

$$T_e = \frac{112 \times 12 \times 807{,}5}{250} = 4.380 \text{ kgs}$$

Marquemos $BB' = T_e$, no diagrama dos esforços transversos, e tracemos uma horizontal pelo ponto B'. Os varões inclinados deverão resistir ao esfôrço transverso representado pela superfície B' B'' R'' R'. A secção total dos varões inclinados, necessários para completar a resistência ao esfôrço transverso dos estribos, é dada pela expressão (45):

$$\Omega = \frac{\Sigma\,(T\,d)}{1{,}414\,b\,t}$$

na qual:

Σ (T d) representa a superfície B' B'' R'' R' do diagrama dos esforços transversos = = 38.125.000 (kgs mm)
b = braço do binário elástico = 0,85 × 950 = = 807,5 mm
t = 12 kg/mm²

donde:

$$\Omega = \frac{38.125.000}{1{,}414 \times 807{,}5 \times 12} = 2790 \text{ mm}^2$$

Ora, os varões inclinados, (5 grupos de 2 ø de 24 mm), tem uma secção total de 5 × 905 = = 4525 mm² > 2790 mm².

Para determinar as distâncias entre estes varões inclinados, basta dividir o trapézio B' B'' R'' R' em cinco partes iguais. As perpendiculares levantadas pelos centros dos cinco pequenos trapézios determinarão, sôbre o eixo da nervura, os pontos de levantamento dos varões. É conveniente não perder de vista, que as armaduras de flexão e de encastramento não podem ser dobradas senão nos pontos em que deixam de ser necessárias para a resistência aos momentos flectores (fig. 138, Solução II).

É esta a razão, porque fomos obrigados a aumentar o comprimento de certos varões das armaduras de flexão e de encastramento, de modo a fazê-los passar pelos pontos em que se devem dobrar.

A divisão do trapézio B' B'' R'' R' em cinco partes iguais, faz-se gràficamente, pelo método seguinte, (fig. 138):

Consideremos a intersecção da recta B'' R'' com a horizontal B' R'. Projectemos o ponto I em I' e tracemos uma semi-circunferência de diâmetro BI'.

Com centro em I determinamos E', que projectamos em seguida em E.

Dividindo BE em cinco partes iguais obtemos os pontos a b c e d, pelos quais traçamos perpendiculares que cortam a semi-circunferência nos pontos a' b' c' e d'. Com centro em I', traçamos arcos de círculo que passem por estes pontos. Os pontos de intersecção dêstes arcos com a recta BE'' determinam os pontos de divisão procurados.

(Continua)

A AUTO-PROPULSÃO POR HÉLICES

POR TOMAZ DA COSTA ROQUE

(Do Curso de Engenharia Electrotécnica)

O artigo que se segue é um extracto do Tirocínio de Máquinas feito pelo aluno no Arsenal do Alfeite em Julho do presente ano comum.

O interêsse do assunto está apenas no facto de a nossa Escola de Engenharia não tratar geralmente nada do que diga respeito a Construção Naval.

I) Potência de propulsão

Um navio em flutuação, encontra-sa em equilíbrio estático, e os cálculos feitos para a sua construção asseguram-nos que êste equilíbrio é estável. Se assim não fôra, qualquer pequena ondulação levaria o navio a voltar-se de quilha para o ar.

Posto isto, notemos agora que o navio em movimento, tem uma particularidade importante em relação a todos os outros veículos vulgares. E esta particularidade consiste no seu movimento obrigatório sôbre uma superfície horizontal: um navio nunca «sobe» nem nunca «desce». E assim, a energia potencial dêste veículo conserva-se constante, o que traz uma conseqüência importantíssima: tôdas as fôrças aplicadas no movimento, têm como fim exclusivo vencer os atritos que se lhe opõem. Como conseqüência secundária, aparece o conhecimento de que tôda a energia empregada no movimento se transforma integralmente em energia degradante, isto é, em energia perdida para nós.

Chama-se *resistência da querena ao reboque,* à fôrça necessária para vencer a inércia do navio quando êle se encontra parado. É então, teòricamente, a fôrça capaz de produzir, sem acréscimo de velocidade, a partir do repouso, um movimento com uma velocidade dv muito próxima de zero.

Como tôdas as fôrças de atrito, esta resistência irá depender extraordinàriamente da velocidade do móvel. E a cada velocidade, corresponderá portanto uma resistência ao reboque.

Por isso se convenciona chamar *resistência ao reboque* à fôrça que é necessário aplicar ao navio, para, sem acréscimo nem decréscimo de velocidade, manter nêle a velocidade normal que se deseja.

Note-se que esta fôrça ha-de ser «exterior» ao navio, isto é, não ha-de ser obtida por auto-propulsão. Porque, como oportunamente mostrarei, a fôrça obtida por auto-propulsão tem de ser maior que a do reboque.

A resistência ao reboque determina-se experimentalmente, pelo emprêgo dum rebocador que, conduzindo o navio à velocidade a que êle se destina, mostra a fôrça que é necessário empregar. É necessário que o rebocador esteja bastante afastado do navio que se estuda, para que a sua influência não se faça sentir no comportamento dêste.

As fôrças de atrito que contrariam o movimento são de duas naturezas:

1.º) O atrito da água sôbre a superfície da querena; é a *resistência da querena;*

2.º) O atrito do ar de encontro às obras mortas.

É claro que, para navios de pequenas velocidades e com superstruturas pouco desenvolvidas, o segundo termo é despresível em face do primeiro. Mas o mesmo não sucede aos navios de grandes velocidades e superstrutu-

ras muito desenvolvidas, como é o caso dos actuais grandes transatlânticos.

Quando o navio se move por propulsão por hélice, dá-se, sôbre a querena, a reacção do hélice ou dos hélices, como mais tarde explicarei, o que faz com que a resistência oposta ao movimento seja maior que a resistência ao reboque. A resistência do movimento, à velocidade normal pretendida, chama-se então *resistência á propulsão.*

Tratemos agora da resistência da querena. Esta resistência é a soma total de três:

1.ª) resistência de atrito;

2.ª) resistência de onda;

3.ª) resistência por formação de remoinhos.

O primeiro termo é predominante nos navios de muito pequena velocidade. O segundo predomina nos de velocidade muito elevada. O terceiro termo não predomina em caso nenhum.

A resistência de atrito é devida ao atrito das moléculas líquidas contra a superfície da querena. Ela depende dos seguintes factores:

a) da velocidade do navio;

b) da forma da superfície de querena; e

c) do estado de limpeza desta.

Quanto à resistência de onda, ela resulta da formação de ondas líquidas divergentes a partir da proa. E, como é evidente, o movimento destas ondas requere a aplicação de fôrças. Como também é evidente, a formação destas ondas é tanto mais acentuada quanto maior fôr a velocidade do movimento.

A par da formação destas ondas, duas causas produzem o movimento de moléculas líquidas em remoinhos:

a) descontinuïdades da superfície da querena: as aranhas dos veios, os ressaltos das chapas, as aberturas do costado, etc.;

b) más formas da pôpa, com saídas de água muito cheias.

Para deminuir esta resistência dos remoinhos, desenha-se a querena convenientemente. Então esta resistência torna-se pouco importante, e na prática computa-se em cêrca de 5 % da resistência de atrito.

A) Perdas de potência

Para fornecer a acção de propulsão que há-de fazer mover o navio, existe um motor. Se o motor que trabalha é um motor alternativo, a sua potência é dada pelo indicador. Logo, teremos, em primeiro lugar, uma primeira perda devida ao rendimento mecânico da máquina.

Se da potência indicada extrairmos esta perda, obteremos a potência disponível no início do veio. Em seguida temos as perdas nas chumaceiras da linha de veios. Descontadas estas, teremos a potência que se cede ao hélice.

Mas por sua vez, o hélice também tem seu rendimento, como explicarei em seguida. Descontadas então as perdas devidas a êste último rendimento, ficamos com a potência realmente utilizada no deslocamento do navio à velocidade exigida. Esta potência chama-se *potência motriz efectiva.*

À potência desenvolvida pelo motor dá-se o nome de *potência motriz de propulsão.*

À razão da potência motriz efectiva para a potência motriz de propulsão, chama-se *coeficiente propulsivo.* Êste coeficiente propulsivo, exprime, como é óbvio, o rendimento total das perdas, verificadas até à efectivação do movimento do navio à velocidade exigida. Pràticamente, tem-se verificado que êste rendimento anda à roda de 50 %.

Note-se que neste valor prático deve incluir-se desde já, uma perda de certa importância, que é devida ao hélice, da mesma maneira como o rendimento do hélice. Trata-se do *rendimento da querena,* que explicarei em seguida. Êste rendimento pode ser considerado de 90 a 95 % para navios de um só hélice e de 95 % a 100 % para navios de dois hélices.

Resumindo, podemos pois dizer que a potência motriz de propulsão se decompõe em duas partes:

1.ª) Potência motriz efectiva;

2.ª) Potência consumida nas perdas.

A potência motriz efectiva vence a resistência da querena (resistência ao reboque), constituída por:

a) resistência de atrito;

b) resistência de onda;

c) resistência de remoinhos.

As perdas que se verificam são as seguintes:

a) as devidas ao rendimento orgânico da máquina;

b) ao rendimento mecânico da linha de veios;

c) ao rendimento do hélice;
d) ao rendimento da querena.

a) *Rendimento do hélice*

O rendimento do hélice é devido a várias perdas, de entre as quais predomina a devida ao recuo do hélice. Nos hélices bem calculados e bem estudados, êste rendimento anda à roda de 70 %.

Vejamos o que se entende por *recuo* do hélice.

Como é evidente, um hélice é, fundamentalmente, um parafuso que progride por sua rotação.

Mas, enquanto num meio sólido um parafuso progride na razão de um passo por volta, no hélice não sucede assim. E não sucede assim porque o meio líquido não oferece uma base fixa de apoio. É claro que, relativamente à água envolvente, o movimento será êsse. Mas, como a água sofre, ao oferecer a reacção, um movimento de recuo, segue-se que a progressão conseguida pelo hélice (e portanto pelo navio com que está solidário) é inferior necessàriamente, por cada volta efectuada, ao passo do hélice.

Seja *p* o passo do hélice em metros, e *v m/seg* a velocidade do navio, e *n rot/seg* a velocidade de rotação do hélice. A progressão do hélice por volta será:

$$\frac{V}{n} \text{ metros/rot.}$$

E será, pelo recuo da água:

$$p > \frac{V}{n}$$

A relação

$$r = \frac{p - \frac{V}{n}}{p}$$

chamamos nós *recuo do hélice*. É principalmente a êste recuo do hélice que é devido o rendimento do mesmo. Pois, como é óbvio, consumir-se-á necessàriamente potência no movimento de cedência da água.

b) *Rendimento da querena*

Notemos agora que, pela própria resistência da querena, o movimento do navio vai produzir o deslocamento da massa líquida envolvente, que tende a acompanhar o movimento da querena. Nestas condições, é claro que se produz uma diminuïção da resistência da querena. Mas êste efeito benéfico é contrariado pelo efeito de sucção que o hélice provoca na mesma massa líquida, como resulta imediatamente do recuo. Por isso que a resistência da querena ao reboque é menor que a mesma resistência sob a acção propulsora do hélice.

É à relação entre a potência efectiva de propulsão e a potência consumida no reboque que nós chamamos *rendimento da querena*.

Se incluirmos a perda devida a êste rendimento no conjunto de tôdas as perdas, poderemos chamar, como já foi aconselhado acima, *potência motriz efectiva* à potência que vencerá a resistência ao reboque (resistência de atrito, resistência de onda e resistência de remoinhos).

II) Estudo sumário dos hélices

De um modo geral, tudo que trate de questões de hidráulica é interessante. Mas não sei se a questão dos hélices será por exemplo de maior interêsse que a das turbinas. Ambas as questões devem estar equiparadas.

O hélice, nas suas aplicações de propulsão e recepção, parece à primeira vista um objecto muito simples mas é de uma complicação extraordinária. A sua importância tomou hoje um valor enorme, desde que se aplicou à propulsão dos navios e aviões de grande velocidade. E o seu estudo não pára. E não pára porque, por um lado, não se pode fazer dêle um estudo com carácter absoluto, e por outro lado, porque não há velocidade que satisfaça, e caminha-se constantemente para velocidades cada vez maiores. Como é óbvio, a questão do hélice está pois intimamente ligada com a questão aerodinâmica, não menos complexa nem mais absoluta.

A) Definições

Um hélice é fundamentalmente constituído por um conjunto de *pás* encastradas num fixe fusiforme.

Chama-se *diâmetro do hélice* ao diâmetro da circunferência descrita pelo ponto mais afastado duma pá.

É claro que cada pá tem duas faces, e por isso precisamos de as designar com nomes diferentes.

Chama-se *face actuante* à face que, pelo movimento do hélice, actua sôbre a água, recebendo dela a reacção.

Chama-se *face dorsal* à outra face. Esta face também se designa simplesmente por *dorso* da pá.

Cada pá tem também duas arestas: a *aresta de ataque* e a *aresta de saída*.

Fundamentalmente, tanto para a construção, como para o desenho, como ainda para o cálculo, das duas faces da pá, a que interessa é a face actuante.

Vejamos como se faz a traçagem desta face.

Para esta traçagem (Fig. 1), considera-se uma curva helicoidal (*a*), chamada *directriz*, cujo eixo é o eixo do hélice. A projecção desta helicoidal sôbre um plano normal ao eixo é uma circunferência cujo diâmetro é precisamente o diâmetro do hélice.

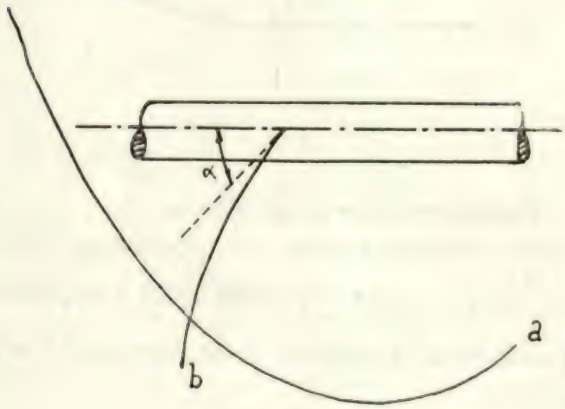


Fig. 1

Apoiando-se sôbre o eixo e sôbre esta curva considera-se uma outra curva (*b*), móvel, chamada *geratriz* do hélice. Esta curva é geralmente uma recta, e, no caso mais geral, o seu movimento faz-se de sorte que se conserve constante o ângulo α que, no ponto de apoio, ela faz com o eixo do hélice.

Como é evidente, a face actuante de cada pá será, necessàriamente, uma porção duma superfície helicoidal.

Chama-se *passo do hélice* ao passo da curva helicoidal, directriz.

Chama-se *coeficiente de passo* ao número abstracto

$$\frac{H}{D}$$

— relação entre o passo e o diâmetro do hélice.

B) Hélices de passo variável

Vou agora referir-me apenas ao caso do passo variável no espaço, porque ao passo variável no tempo referir-me-ei mais adiante, por também ter um interêsse actual extraordinário.

Os hélices de passo variável no espaço são muito empregados.

Esta variação do passo no espaço pode fazer-se das três maneiras seguintes:

1.º) Pela variação do passo no sentido da largura da pá, entre a aresta de ataque e a aresta de saída;

2.º) Pela variação no sentido do raio, entre o fixe ou base da pá e a periferia;

3.º) Simultâneamente das duas maneiras.

O problema resolve-se pelo traçado da face de ataque da pá. E para cada um dêstes três casos, êste traçado pode fazer-se, respectivamente:

1.º) A variação do passo no sentido da largura pode fazer-se, desde que se tome para directriz uma curva helicoidal de passo variável no sentido do eixo;

2.º) A variação do passo no sentido do raio consegue-se apoiando a geratriz sôbre o eixo, e empregando duas directrizes helicoidais de raios diferentes e passos também diferentes. Como é evidente, para se conseguir um tal apoio (a geratriz apoiar-se sôbre o eixo e as directrizes), já não se conseguirá aquela condição geral de, no traçado da face actuante, a geratriz conservar uma inclinação constante sôbre o eixo. Como também é evidente, para se obter uma melhor variação de passo, isto é, uma variação mais contínua, seria conveniente empregar, não apenas duas directrizes, mas sim um número mais elevado; mas, fazendo-se isto, já o apoio da geratriz sôbre tôdas as directrizes não se poderá garantir, salvo se essa geratriz fôr uma curva muito especial, o que traz complicações que não seriam compensadas pelas vantagens;

3.º) É claro que, para se obter simultâneamente as duas variações de passo, bastará apoiar-se a geratriz sôbre duas directrizes de

passos diferentes, e, elas próprias, de passo variável no sentido do eixo.

Nos hélices de passo variável, caracteriza-se a orientação por meio do *passo médio.*

Como é óbvio, êste passo médio pode obter-se pela média aritmética de diversos passos em diferentes pontos.

C) Alguns dados para o cálculo

A traçagem da face dorsal da pá fica dependente da traçagem da de ataque.

Neste traçado, procurar-se-á apenas a consecução, na pá, de uma espessura que lhe permita uma boa resistência mecânica.

A intersecção de um cilindro, concêntrico com o eixo do hélice, com uma pá, dá uma

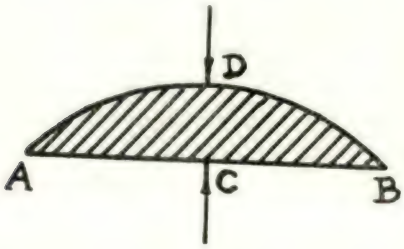


Fig. 2

secção semelhante à indicada, em que *ADB* representa a face dorsal e *ACB* a face actuante.

Nesta secção, diz-se *espessura* da pá a espessura máxima *DC.*

A intersecção da pá segundo um plano que seja o lugar geométrico das espessuras da pá nas suas diversas secções, é uma secção semelhante à indicada.

Nesta figura, como geralmente sucede, a espessura decresce linearmente com o raio.

Chama-se *coeficiente de espessura* da pá, ao número abstracto

$$\varepsilon = \frac{\overline{GH}}{D}$$

onde *D* é o diâmetro do hélice.

Chama-se *coeficiente de espessura médio* da pá à relação

$$e = \frac{E}{D}$$

onde *E* representa a espessura da pá a 2/3 do raio máximo.

Chama-se *superfície planificada* da pá, e representa-se por Σ, à área da superfície planificada da face actuante.

Chama-se *superfície projectada,* e representa-se por S, à área da projecção da pá sôbre um plano normal ao eixo.

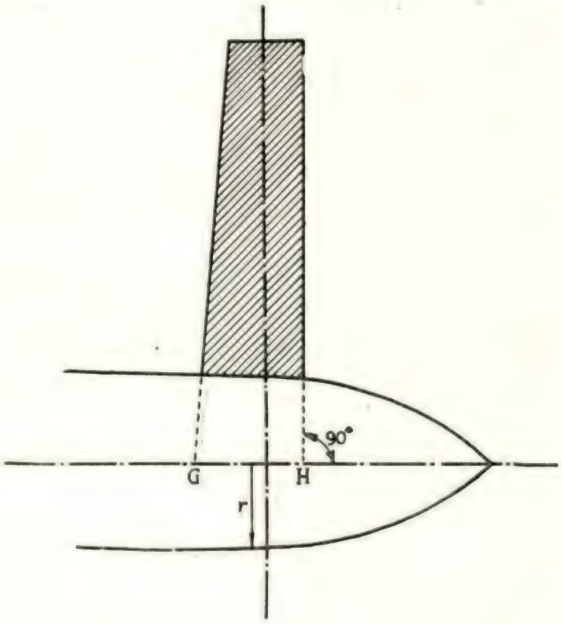


Fig. 3

Chama-se *largura média* da pá, à largura dum rectângulo com o comprimento da pá $\left(\frac{D}{2} - r\right)$ e uma superfície igual à superfície planificada. A largura dêste rectângulo será pois:

$$l = \frac{\Sigma}{\frac{D}{2} - r}$$

Chama-se *coeficiente de largura média* ao número abstracto:

$$\lambda = \frac{l}{D}$$

Se fôr ω a velocidade angular de rotação do hélice (correspondente a N rot/seg.), e se fôr $V^m/seg.$ a sua velocidade de translacção (velocidade do navio), chama-se *avanço por volta* do hélice à relação

$$a = \frac{V}{N} \text{ m/rot.}$$

Chama-se *coeficiente de recuo* ou simplesmente *recuo* do hélice, ao número abstracto já conhecido:

$$\rho = \frac{H - a}{H}$$

D) Estudos teóricos do hélice

O estudo do hélice propulsor pode ser conduzido, satisfatòriamente, sob o ponto de vista teórico. É claro que, como de resto sucede em todos os estudos teóricos, ter-se-á de aplicar, aos resultados teóricos, certas modificações mais ou menos profundas, aconselhadas pela prática.

Não vou estudar estas teorias, não só porque não me ocupei delas, como também por não oferecerem grande interêsse prático.

O estudo do hélice deve ser fundamentalmente empírico.

No entanto, posso dizer dos fundamentos do seu estudo teórico.

São duas as teorias fundamentais:

1.ª) A *teoria hidráulica* — Estuda o movimento da veia líquida atacada pelo hélice, deduzindo dêste estudo as condições de funcionamento do propulsor.

2.ª) A *teoria analítica* — Estuda o movimento dum elemento de superfície da face de ataque do hélice, e a reacção que êste elemento recebe do líquido. Integrando em tôda a superfície, obtêm-se expressões algébricas. Nesta teoria, a dificuldade consiste no estabelecimento do valor da reacção do líquido.

E) Estudos experimentais

Tal como no estudo da complexa questão da aerodinâmica, o estudo do hélice propulsor deve também ser feito experimentalmente, por experiências feitas sôbre «modelos reduzidos», e transplantando os resultados obtidos para os modelos mecânicamente semelhantes mas com a grandeza desejada.

Para essa transplantação dos resultados, é necessária a existência de algumas leis teóricas, que nos permitam fazer a comparação dos diversos modelos de hélice.

Estas leis são duas:

1.ª) A *lei da resistência da água*, também chamada *lei dos quadrados da velocidade.*

2.ª) A *lei da semelhança mecânica,* aplicada ao movimento dos corpos imersos.

Se bem que estas leis teóricas não sejam rigorosamente verdadeiras, as experiências de Taylor, Fronde, e, mais recentemente Gebers, mostram-nos que as divergências em relação à prática são muito pequenas, e a aplicação destas leis conduz a resultados satisfatórios.

Passo pois a estudá-las resumidamente.

a) *Lei dos quadrados da velocidade*

Notemos que a rotação do hélice, conseguida a expensas da potência do motor, desenvolve uma determinada fôrça P_1 que actua sôbre a água.

E então, o hélice recebe, da parte da água, uma reacção P, inferior à fôrça P_1, porque a água cede, produzindo-se o que se chama o recuo. É claro que esta fôrça P é aquela que vai produzir o movimento do navio, resultando dela o que nós chamamos a *potência efectiva* do hélice:

$$F_1 = P \cdot V$$

onde V é a velocidade de deslocamento do navio.

Se fôr F a potência disponível no hélice, é claro que o rendimento do hélice será dado pela relação:

$$\eta = \frac{PV}{F} \times 100\,\%$$

Êste rendimento traduz-nos a perda de potência por recuo da água.

Posto isto, vamos ver qual a conclusão importante que se pode tirar da lei dos quadrados da velocidade. Esta lei diz-nos que «a reacção recebida de um fluido por um corpo que se move mergulhado nesse fluido, com movimento uniforme, é directamente proporcional ao quadrado da *velocidade relativa*».

Reportemo-nos ao caso especial do hélice. O movimento de qualquer ponto dum hélice resulta da composição de 2 movimentos: um movimento de rotação de velocidade angular ω, correspondente a N voltas por segundo ($\omega = 2\pi N$); e um movimento de translacção, de velocidade V. Assim o movimento relativo ao fluido de um ponto do hélice, será, de-facto, um movimento helicoidal, cujo passo é:

$$a = \frac{V}{N}$$

que é o já conhecido avanço por volta.

Ora, para a aplicação da lei dos quadrados da velocidade, temos de conhecer a velocidade relativa, não só em direcção, como em grandeza. Então, suponhamos que temos diversos hélices, todos com o mesmo valor da relação:

$$a = \frac{V}{N}$$

Como é evidente, todos estes hélices terão movimentos tais, que as suas pás têm velocidades relativas de igual direcção. Quanto às grandezas da velocidade relativa, nestes diversos hélices, elas serão proporcionais a V ou a N (porque V e N variam igualmente).

Nestas condições, aplicando a lei dos quadrados da velocidade, para estes diversos hélices, a reacção P recebida pelo hélice será proporcional ao quadrado de N ou de V:

$$P = KN^2 = K_1V^2$$

onde K e K_1 são coeficientes independentes de V (e portanto de N), e dependentes do avanço por volta $\frac{V}{N}$ e das dimensões do hélice.

Por outro lado, a potência absorvida F, resultante do esfôrço desenvolvido pelo hélice (maior que o recebido P), dependerá também da velocidade relativa, variando com o cubo dela:

$$F = K' N^3 = K'_1 V^3$$

onde K' e K'_1 são também coeficientes (maiores respectivamente que K e K_1), independentes da grandeza da velocidade relativa e dependentes das dimensões do hélice e do avanço por volta.

A potência efectiva, sendo $P.V$, dá-nos para rendimento do hélice o valor:

$$\eta = \frac{PV}{F} = \frac{K}{K'} = \frac{K_1}{K'_1}$$

É precisamente a isto que queríamos chegar. É um resultado interessante da aplicação no estudo dos hélices da lei dos quadrados da velocidade.

Pela natureza dos coeficientes K, K', K_1, K'_1, concluímos imediatamente:

«O rendimento dum hélice depende apenas das suas dimensões e do seu avanço por volta.»

b) *Leis da semelhança*

Das leis da semelhança, trataremos apenas da maneira como devemos, dado um determinado hélice, construir um modêlo que lhe seja mecânicamente semelhante, e cujas pás ataquem o líquido segundo os mesmos ângulos de incidência.

Suponhamos então que é dado um hélice, e que pretendemos construir outro hélice semelhante, cujas dimensões lineares homólogas estarão portanto numa relação constante λ.

Ora, para que os ângulos de incidência do ataque do líquido se mantenham, será necessário, como é evidente, que o modêlo tenha o mesmo recuo. E da expressão do recuo

$$P = \frac{H - a}{H}$$

concluímos que, para que assim suceda será preciso que os avanços por volta a dos dois hélices, estejam entre si na mesma relação λ.

O modêlo do hélice tem pois de ter um avanço por volta tal, que se verifique esta condição. Ora, como é evidente, isto pode fazer-se de infinitas maneiras, pois não se trata de fixar para V e para N um determinado valor, mas sim para a relação

$$a = \frac{V}{N}$$

Mas vou citar aqui, apenas dois processos que se podem seguir:

1.º O modêlo tem a mesma velocidade angular N *que o hélice* — É claro que podemos fazer isto. Depois, como necessitamos que o avanço por volta do modêlo

$$a = \frac{V}{N}$$

esteja para o do hélice naquela relação λ, faremos com que a velocidade de translacção V do modêlo esteja para a do hélice, nessa mesma relação. E nestas condições, o hélice avançará λ vezes mais depressa que o seu modêlo. E os pontos do hélice terão, em rela-

ção ao líquido, velocidades λ vezes maiores que os pontos homólogos do modêlo. Assim, pela lei dos quadrados da velocidade, as reacções recebidas pelos elementos de superfície do hélice, são λ^2 vezes maiores que as recebidas pelos do modêlo. Mas por outro lado, pela relação de semelhança mecânica, as superfícies das pás do hélice são λ^2 vezes maiores que as das pás do modêlo. E então, como é óbvio, a reacção total recebida pelo hélice, será λ^4 vezes maior que a recebida pelo modêlo. E a potência desenvolvida pela reacção (e o binário resistente) no hélice, será λ^5 vezes maior que no modêlo.

Podemos agora resumir estes resultados, caracterizando as dimensões absolutas dum hélice pelo seu diâmetro D, dizendo que, se tivermos diversos hélices semelhantes (com as mesmas formas), o esfôrço de reacção recebido pelo hélice, é proporcional à 4.ª potência do diâmetro, e a potência e o binário resistente são proporcionais à 5.ª potência do diâmetro:

$$\begin{cases} P = \pi_2 D^4 \\ F = \Phi_2 D^5 \end{cases}$$

É claro que, atendendo à maneira como chegámos a estas fórmulas, os coeficientes de proporcionalidade π_2 e Φ_2 são:

1.º) independentes:

a) das dimensões absolutas do hélice;

b) da sua velocidade de avanço V.

2.º) dependentes:

a) do recuo do hélice;

b) da velocidade angular N;

c) da forma do hélice.

Como é conveniente obtermos expressões com coeficientes independentes também da velocidade angular N, basta-nos para isto atendermos a que, pela lei dos quadrados da velocidade, o esfôrço e a potência de reacção variam proporcionalmente e respectivamente com N^2 e N^4.

E teremos as novas expressões:

$$1) \begin{cases} P = \omega N^2 D^4 \\ F = \varphi N^3 D^5 \end{cases}$$

Aqui, temos que os coeficiente ω e φ são:

1.º) independentes:

a) das dimensões absolutas;

b) dos valores absolutos das velocidades V e N.

2.º) dependentes:

a) do valor do recuo;

b) das formas do hélice.

Temos pois já as duas expressões 1) que nos permitam relacionar as características de funcionamento de dois hélices.

Podemos pois estudar um hélice só, e transplantar os resultados para qualquer outro hélice. Mas para isso seria necessário que determinássemos os valores dos coeficientes ω e φ, o que é extremamente complexo, visto êles dependerem das formas e do valor do recuo.

Mas, se fizermos o estudo de um hélice, os resultados que se obtiverem já se poderão transplantar com facilidade para outros hélices, desde que estes sejam mecânicamente semelhantes e tenham o mesmo recuo que o hélice estudado. Na verdade para hélices semelhantes com o mesmo recuo, aqueles coeficientes ω e φ serão na verdade *constantes*.

Como é óbvio, podemos então estudar um hélice pelo estudo dum seu modêlo reduzido, que lhe seja semelhante e que tenha o mesmo recuo.

Estes resultados obtiveram-se partindo-se do exame de hélices semelhantes, com o mesmo recuo, e com a mesma velocidade angular N.

Vamos agora obter outros resultados partindo doutro ponto de vista.

2.º) *O modêlo tem a mesma velocidade de avanço V que o hélice* — Recordemos que necessitamos de o avanço por volta $\frac{V}{N}$ do hélice ser λ vezes maior que o do modêlo. E então, como consideramos a mesma velocidade de avanço V, teremos que a velocidade angular do hélice deverá ser λ vezes menor que a do modêlo. Mas como o modêlo tem as dimensões lineares λ vezes menores, tem a mesma velocidade de avanço, as grandezas das velocidades relativas dos pontos homólogos do hélice e do modêlo serão iguais. E as pressões serão as mesmas. E como as reacções dependerão apenas das superfícies, elas serão proporcionais a λ^2:

$$P = \pi_3 D^2$$

E por outro lado, como as velocidades relativas têm o mesmo valor, as potências da reacção serão também proporcionais a D^2:

$$F = \Phi_3 D^2$$

É claro que os coeficientes π_3 e Φ_3 serão:

1.º) independentes:

a) das velocidades de rotação N;

b) das dimensões absolutas.

2.º) dependentes:

a) das velocidades de avanço V;

b) do recuo;

c) das formas.

Para tornarmos os coeficientes independentes das velocidades de avanço, basta-nos atender à lei dos quadrados da velocidade, e teremos:

$$2)\begin{cases} P = \omega_1 V^2 D^2 \\ F = \varphi_1 V^3 D^2 \end{cases}$$

onde ω_1 e φ_1 são coeficientes dependentes apenas do recuo e das formas do hélice.

Aqui temos outras fórmulas que nos permitem estudar um determinado tipo de hélice, pelo estudo experimental dum modêlo reduzido semelhante com o mesmo recuo.

Poderíamos obter infinitas fórmulas, pelas infinitas maneiras com que podemos conseguir estabelecer a relação de λ entre os avanços por volta.

III) Hélices de passo variável

Tratemos agora, também resumidamente, dos hélices de passo variável, no tempo.

Como é evidente, quando o passo do hélice é invariável no tempo, para a variação da velocidade do veículo (navio por exemplo), será necessária a variação da velocidade de rotação N do veio. Isto, é claro, traz como conseqüência a necessidade de mudanças de velocidade, como é conhecido por todos.

De maior importância será a inversão de marcha, que tantas vezes é necessário fazer-se num navio, com uma brusquidão enorme, até para fins de travão, em eventualidades momentâneas.

Quais serão as desvantagens?

Em primeiro lugar, direi que vou citar apenas aquelas que eu enxergo, porque êste assunto falo nêle apenas por curiosidade, não tendo dêle consultado nenhuma obra. Dêle ouvi apenas falar na existência. Por isso, se alguma imperfeição houver, leve-se isso em desconto.

Ora, como desvantagens, enxergo, como evidentes e imediatas, as seguintes:

1.ª) Ter-se-á uma complicação orgânica da máquina, pelos acessórios necessários às mudanças de velocidade.

2.ª) Por consequência disto, teremos maiores perdas de rendimento.

3.ª) Não se poderá conseguir uma variação contínua de velocidades, pois tôda a gente conhece as designações de 1.ª, 2.ª e 3.ª velocidades, etc.

4.ª) Como consequência, qualquer mudança de velocidade que se efectue, é sempre uma variação brusca, e portanto produtora de um esfôrço de choque sôbre o veio, que, como sabemos é prejudicial à estrutura e qualidade do material.

5.ª) Uma inversão de marcha, que num navio é, por sua necessidade, muito brusca, produz sôbre o veio a actuação de violentos esforços alternados, de efeitos conhecidamente perniciosos.

6.ª) A variação da velocidade do veio, produz conseqüentemente a variação das fôrças centrífugas das massas excêntricas, inevitáveis na calibração mais perfeita.

Tôdas estas desvantagens, e mais outras que não cito por não conhecer, são eliminadas pela concepção dos hélices de passo variável.

Com estes, o veio trabalhará sempre com a mesma velocidade, e, um sistema de engrenagens permite uma variação contínua de velocidade, chegando até à inversão de marcha, tudo por uma variação do passo (inclinação das pás).

Se é certo que, por sua necessidade, esta inversão de marcha é extremamente brusca, também é certo que a variação do esfôrço do veio, rodando sempre à mesma velocidade e sempre no mesmo sentido, a-pesar-de ser muito rápida, nunca é instantânea: esta variação é feita com continuïdade, a-pesar-de tudo, *passando por todos os estados intermediários.* E isto, poderá trazer de facto um esfôrço quási de choque sôbre o veio mas *nunca traz a exigência de um esfôrço alternado.*

Com estes hélices de passo variável, o veio e o hélice podem trabalhar em vazio (passo no ponto zero), o que pode trazer vantagens nas exigências do decorrer da vida do veículo.

Hoje há a tendência do emprêgo exclusivo dêste tipo de hélices.

Há muito já que a aviação os emprega com proficiência.

DO MUNDO TÉCNICO

O calor ambiente utilizado como fôrça motriz?

M. Emilio Guarini, antigo professor da Física e da Mecânica, na Escola de Artes e Ofícios de Lima (Peru), acaba de publicar, em língua italiana, uma interessante brochura de 32 páginas, acêrca da utilização do calor ambiente como fôrça motriz.

Em prefácio, M. Guarini reproduz uma carta que lhe foi endereçada pelo Engenheiro A. Barrier, Director Honorário e Conselheiro Técnico do Instituto Internacional do Frio, de Paris, de que participam quási todos os países do mundo. Depois de felicitar M. Guarini pela sua perseverança na luta pela realização da sua engenhosa ideia, M. Barrier escreve:

«Em minha opinião, se, na verdade, algumas das suas asserções parecem e podem estar em desacordo com os princípios de termodinâmica, não deve, no entanto, deixar de se considerar que: por um lado, com um agente como o CO_2, cujo comportamento, sob certas condições, difere do dos outros agentes frigoríficos e que, por outro lado, em presença dos encorajantes resultados das experiências anteriormente realizadas por V. com motores de injecção de CO_2 líquido e, tendo em conta, sobretudo, as enormes e vastíssimas conseqüências que pode ter a sua invenção sob o ponto de vista internacional, o seu autor aparece-me nìtidamente autorizado a prosseguir as suas experiências neste novo caminho, visando a realização prática do dispositivo que imaginou.»

Falando do princípio de Carnot, M. Guarini demonstra a sua inexactidão, pois, enquanto que, por êste princípio, o rendimento aumentaria com a queda de temperatura, a experiência prova que o trabalho produzido e o rendimento aumentam com a diferença de pressões e que se pode obter trabalho mesmo sem queda de temperatura.

M. Guarini presta homenagem aos trabalhos de Georges Claude, dizendo que, a-pesar-de não ter atingido o resultado desejado, Claude demoliu o postulado de Lord Kelvin — que considera impossível a utilização da energia interna da água e do ar — escrevendo «uma das mais belas páginas da história da ciência».

M. Guarini também descreve algumas experiências feitas com dois ciclos:

1) Expansão adiabática do CO_2.

2) Com um novo ciclo frigorífico de baixo consumo de fôrça, baseado no princípio da termocompressão e do desaparecimento do calor externo de vaporização na condensão.

Para demonstrar a importância do problema, M. Guarini — que aguarda a realização das suas experiências em maior escala e com os meios apropriados — lembra-nos que o Sol nos envia 1.825.000.000.000 calorias por quilómetro quadrado e por ano, e que um metro cúbico de água a 20° C., ao congelar-se, perde 100.000 calorias, ou sejam, os equivalentes de, respectivamente, 200.000 toneladas e 12 quilogramas de carvão.

O diagrama entrópico do CO_2

Tecnica Fascista e *Monitore Tecnico*, de Milão, publicaram recentemente um interessante artigo de M. Emílio Guarini, sôbre êste palpitante assunto.

Com efeito, todos os professores universitários que se pronunciaram contra o projecto de M. Guarini para a utilização do calor ambiente como fôrça motriz, por meio dum motor servindo-se da expansão adiabática do CO_2, basearam-se no diagrama entrópico do CO_2.

Eis as observações que M. Guarini faz a êste diagrama:

1.°) Em primeiro lugar, para falar de «conteúdo térmico» tornar-se-ia necessário saber a que temperatura um corpo não possue calor. Ora, como se demonstrou no 5.° Congresso Internacional do Frio não está fìsicamente provado que, ao zero Kelvin (— 273°) um corpo não possua ainda calor.

2.°) No conteúdo térmico, o diagrama entrópico compreende também o Apv (calor externo de vaporização) que desaparece no momento da vaporização do líquido e que, por conseqüência, não se encontra presente no vapor.

3.°) Segundo o diagrama entrópico, a entropia e a energia interna do vapor mantêm-se constantes durante a expansão adiabática, enquanto que esta se faz a expensas da energia interna do vapor.

4.°) O diagrama entrópico não leva em conta o trabalho interno molecular, enorme para o CO_2 a baixa temperatura (aproximadamente 100 calorias por quilograma).

M. Guarini reproduz e discute a correspondência trocada com o autor do diagrama entrópico do CO_2, o Professor Plank, técnico e sábio eminente, mas, como muitos outros, «guarda cioso de princípios imutáveis, que ninguém deve procurar atingir, porque constituem património da ciência do passado, ainda que obstem à ciência do futuro».

No seu estudo, M. Guarini conclue que a produção de neve carbónica pela expansão do vapor ou por evaporação do CO_2 líquido, de — 10° C. a 79° é muito superior à que o diagrama entrópico indica, o que está, aliás, de acôrdo com as experiências de Moissan, de Thilorier e do próprio Guarini. Em conseqüência, a solução do problema da utilização do calor ambiente, por expansão ou vaporização adiabáticas do CO_2, torna-se possível.

A condensação do vapor produz-se sem fonte fria especial. Basta, para resolver o problema, a produção de 50 % de neve carbónica. Os 50 % de vapor que restam, liquifazer-se-ão em resultado de uma ligeira compressão sôbre a neve carbónica produzida.

NOTAS BIBLIOGRÁFICAS

Memorial do Electricista

Motores e Geradores Eléctricos

pelo Eng.º JULIÃO SENNA

Êste primeiro volume trata dum modo elementar todos os assuntos gerais que dizem respeito aos motores e geradores eléctricos mais empregados.

O assunto, exposto com simplicidade e clareza, é acompanhado de exemplos e tabelas.

Neste livro têm os práticos da electrotécnica um auxiliar e um guia.

PUBLICAÇÕES RECEBIDAS

Publicações não periódicas

Águas de Portugal, pelo Eng.º Chefe da I. A., Luís Acciaiuoli — Ministério da Economia.

A Habitação na Colonização do Império, pelo Eng.º Visconde de Almeida Garrett.

Vinte anos de progresso na concentração de minerais pela flutuação, pelo Agente técnico de Engenharia Civil e Mineira, Armando Xavier da Fonseca.

Exposé des motifs précédant le décret qui approuvé le budget pour l'année financière 1941 et Comptes publics de l'année financière 1941, par le Ministre des Finances, João Pinto da Costa Leite (Lumbrales), Professeur à l'Université de Coimbre — Lisboa 1941.

Do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de S. Paulo

Prova de carga da Ponte de Airosa Galvão, Eng.º Paulo Franco Rocha.

Secagem da Madeira em Estufa, Eng.º Frederico Abranches Brotero.

Tubos de aduelas de madeira (Dados para o cálculo e execução), Eng.ºs Frederico A. Brotero e Fernando Jorge Larrabure.

Prova de carga da Ponte da Cidade Jardim sôbre o canal do rio Pinheiros, Eng.º Paulo Franco Rocha.

Bôlsa de Estudos «Cimento Perús» e a Formação de Técnicos Especializados, Eng.º Gilberto Molinari.

Influência da Variação da Altura de Corpos de Prova Cilíndricos de Concreto simples sôbre a Resistência à Compressão, Eng.º Frederico René de Jaegher.

Publicações periódicas

PORTUGAL

ANAIS DO CLUB MILITAR NAVAL — Julho-Agôsto de 1941.

A GRANJA — Novembro de 1941.

ARQUITECTURA PORTUGUESA E CERÂMICA E EDIFICAÇÃO — Setembro de 1941.

ARQUIVO FINANCEIRO E SEGURADOR — Outubro — 1941.

A INDÚSTRIA DO NORTE — Julho-Setembro de 1941.

BOLETIM DA ORDEM DOS ENGENHEIROS — Novembro de 1941.

BOLETIM DA JUNTA NACIONAL DE CORTIÇA — Outubro de 1941.

BROTÉRIA — Novembro de 1941.

CLÍNICA, HIGIENE E HIDROLOGIA — Setembro de 1941.

GAZETA DOS CAMINHOS DE FERRO — N.ºs 1294 e 1295.

GAZETA DE MATEMÁTICA — N.º 8.

GIL VICENTE — Setembro-Outubro de 1941.

INDÚSTRIA PORTUGUESA — Novembro de 1941.

NEPTUNO — Outubro de 1941.

OCIDENTE — Novembro de 1941.

SEARA NOVA — N.ºs 740 a 746.

ALEMANHA

EL PROGRESO DE LA INGENIERIA — Setembro de 1941.

REVISTA SIEMENS — N.º 4 — 1941.

ARGENTINA

LA INGENIERIA — Junho-Julho de 1941.

CIENCIA Y TECNICA - REVISTA DEL CENTRO DE ESTUDIANTES DE INGENIERIA — Outubro e Novembro de 1941.

EL INGENERO — Agôsto de 1941.

BOLETIM DO INSTITUTO ARGENTINO DE RACIONALIZACION DE MATERIALES — Setembro e Outubro 1941.

CHILE

REVISTA DE CAMINOS — Julho e Agôsto de 1941.

ESPANHA

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS — Novembro de 1941.

DYNA — REVISTA DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE ENGENHEIROS INDUSTRIAIS — Novembro de 1941.

HUNGRIA

TECHNIKA — Setembro de 1941.

ITÁLIA

L'ORGANIZAZIONE SCIENTIFICA DEL LAVORO — Novembro de 1941.

ANNALI DEI LAVORI PUBLICI — Agôsto, Setembro e Outubro de 1941.

L'ELECTROTECNICA — N.ºs 17 a 22 de 1941.

REVISTA DEI SERVICI TECNICI ERARIALI — Setembro-Outubro de 1941.

RADIO-TELEVEZIONE — Setembro de 1941.

Tabelas para o Cálculo do Betão Armado

Elaboradas em completo acôrdo com o Regulamento Português do Betão Armado

PELO ENGENHEIRO FERNANDO VASCO COSTA

A' venda na Redacção da "Técnica"

OFICINAS E LABORATÓRIOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

As oficinas pedagógicas do Instituto Superior Técnico, de CARPINTARIA DE MOLDE, de INSTRUMENTOS DE PRECISÃO e de ELECTROTÉCNICA, fornecem todo o género de material escolar e de demonstração para o ensino técnico. Nos laboratórios de QUÍMICA ANALÍTICA, FÍSICA INDUSTRIAL E DE MINERALOGIA executam-se análises para o público

Para quaisquer informações, dirigir-se ao secretário da comissão executiva

"LUSALITE"

fibro-cimento nacional

EM

INCOMBUSTÍVEL
LEVE
RESISTENTE
ISOLADOR
IMPUTRESCÍVEL

Tubos para pressões hidráulicas de 3 a 12 K.os/cm.²
Chapas onduladas para coberturas
Chapas lisas para revestimento de tetos, tabiques, etc.

Produtos da Sociedade Portuguesa de Fibro-cimento

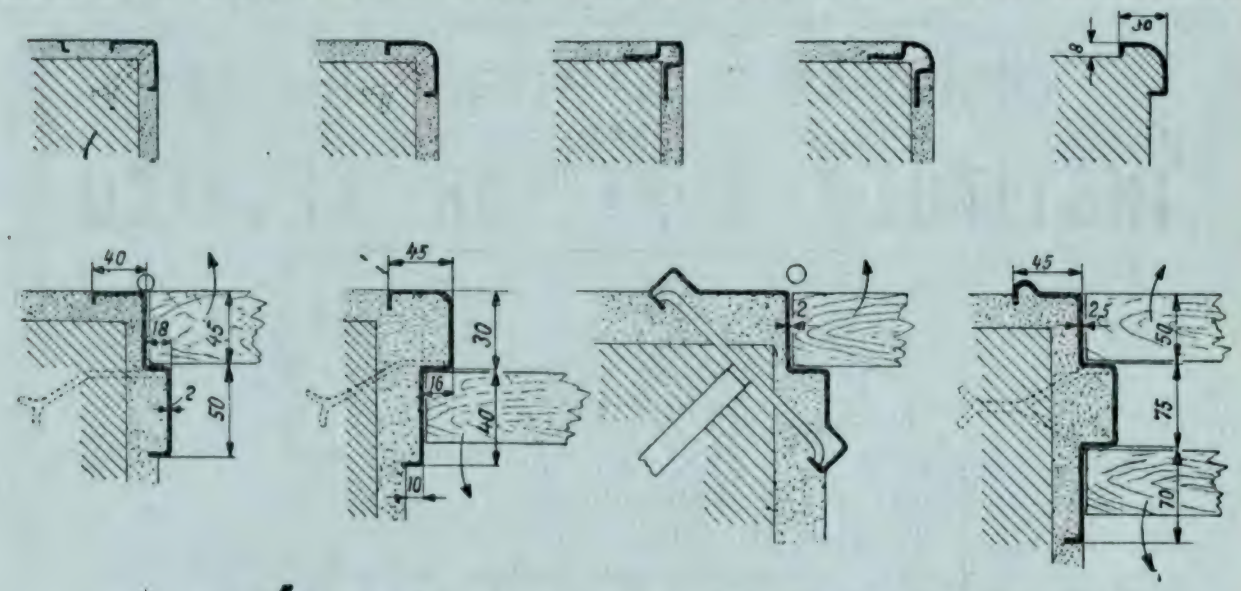
ÚNICOS CONCESSIONÁRIOS:

CORPORAÇÃO MERCANTIL PORTUGUESA, L.DA

Rua de S. Nicolau, 123

Telefones: 2 2091 — 2 2092 — 2 2093 — **LISBOA** — Telegramas: **Lusalite**

ALGUNS EXEMPLOS DOS PERFIS QUE SE PODEM REALIZAR



LISBOA **FÁBRICA PORTUGAL**

FABRICAÇÃO DE PERFIS DE CHAPA PARA TODOS OS GENEROS DE TRABALHOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

UMA REVOLUÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

ALGUMAS DAS PRINCIPAIS REPRESENTAÇÕES DA

Standard Electrica

INTERNATIONAL STANDARD ELECTRIC CORP. — E. U. A.
STANDARD TELEPHONES AND CABLES LTD. — INGLATERRA
INTERNATIONAL MARINE RADIO COMPANY LTD. — INGLATERRA
WESTERN ELECTRIC COMPANY — E. U. A.
WESTON ELECTRICAL INSTRUMENT CO. — E. U. A.
CREED & COMPANY LIMITED — INGLATERRA
FEDERAL TELEGRAPH COMPANY — E. U. A.
NORTHERN ELECTRIC COMPANY — CANADÁ
WHITNEY BLAKE COMPANY — E. U. A.
ALLEN B. DU MONT LABORATORIES — E. U. A.
MATHIAS KLEIN & SONS — E. U. A.

RUA AUGUSTA, 27
LISBOA

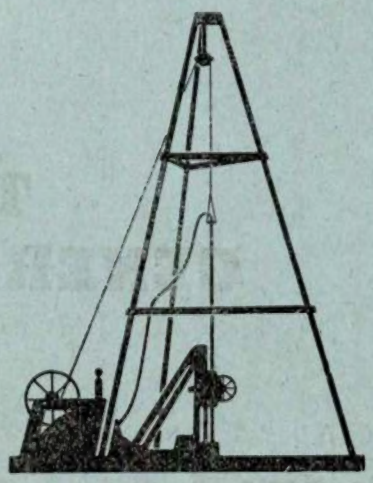
Telefones: 2 3111 — 2 3112 — 2 3113

Sondages. Etanchements. Consolidations "Procédés Ródio"

Sondagens geológicas
Estudo da resistência e permeabilidade de terrenos; laboratório geofísico
Consolidação e impermeabilização de terrenos e alvenarias por meio de injecções de cimento, produtos químicos, emulsão betuminosa Shellperm, etc.
Estacas de beton armado, sistema **Ródio** sem fazer trepidar o solo
Rebocos comprimidos por «**cement gun**»
Fundações em terrenos difíceis por congelação artificial, ou baixando o nível da água friática.

Sociedade Anónima com séde em PARIS

As melhores referências no paiz e no estrangeiro



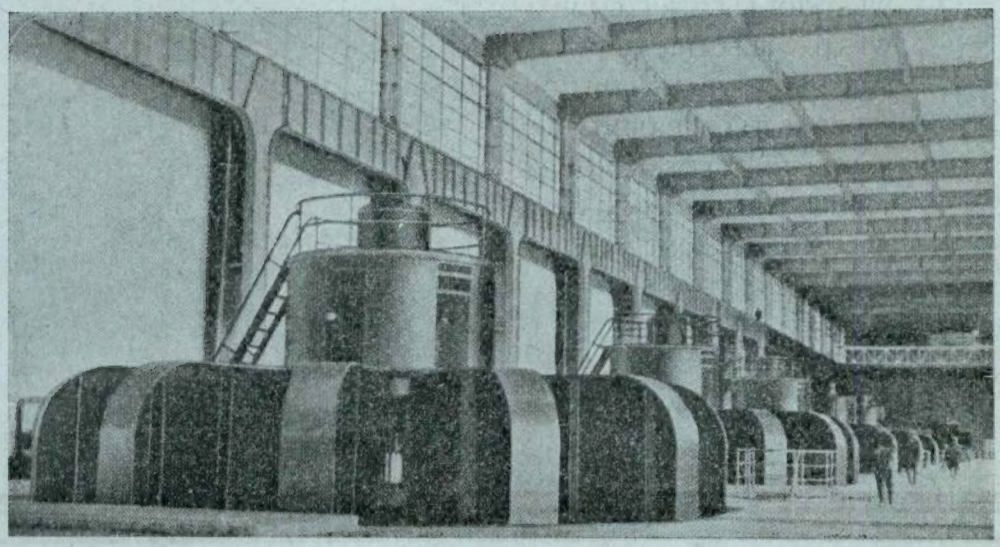
Engenheiro delegado para Portugal

Walter Weyermann

P. do Município, 32-2.º--LISBOA Tel. 2 8685

GENERAL ELECTRIC

Schenectady, N. Y.



Central hidroeléctrica com 5 geradoras General Electric de 77.500 kVA 88 r. p. m. cada um

Motores e dínamos. Alternadores. Transformadores. Aparelhos para alta e baixa tensão. Centrais termo e hidroeléctricas. Electrificação de fábricas. Tracção eléctrica. Máquinas para soldadura eléctrica. Automotoras Diesel-Eléctricas. Turbinas de vapor. Máquinas frigoríficas. Aparelhos de iluminação. Instrumentos de medida. Comandos eléctricos especiais para fábricas téxteis, fábricas de papel, etc.

THOMSON
GENERAL ELECTRIC

Portuguesa, L.da

LISBOA
Rua do Norte, 5

Telef. 28135-28136

EMPRÊSA DE SONDAGENS E FUNDAÇÕES, L.DA

COM

Eng. Ricardo E. Teixeira Duarte

(um quarto de século de especialização técnica)

Sondagens geológicas

—

Poços artezianos

—

Rebaixamentos do nível freático

—

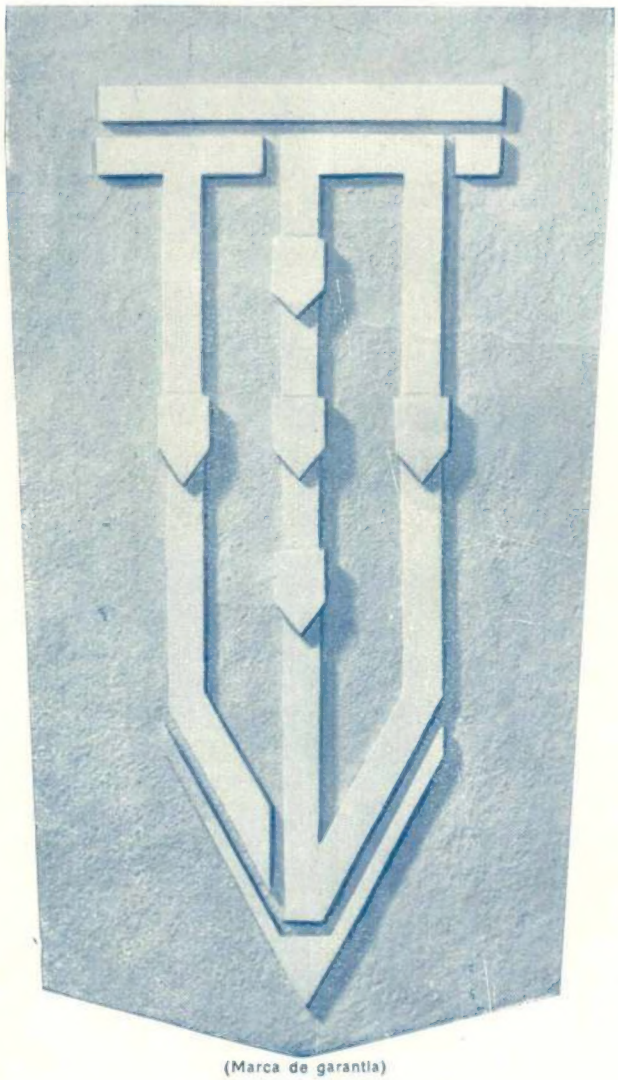
Consolidações do solo

—

Impermeabilização de rochas

—

Captações de água subterrânea



(Marca de garantia)

Fundações de todos os géneros

—

Alicerces económicos

—

Estacas de todos os tipos

—

Consolidação de más fundações

—

Obras hidráulicas

—

Obras subterrâneas

LISBOA — RUA AUGUSTA, 280, 3.º E 4.º

TELEFONE 2 3962

SOCIEDADE ANÓNIMA

BROWN, BOVERI & CIE.

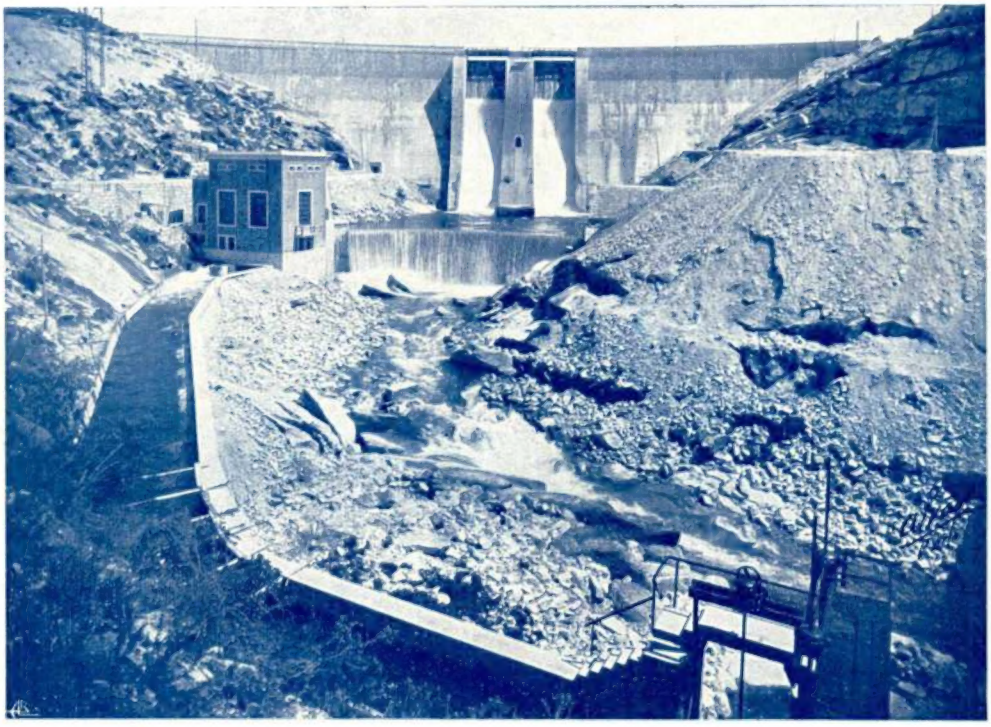
BADEN (SUISSA)

Representante geral para Portugal e Colónias:

EDOUARD DALPHIN

Escritório Técnico: Rua de Passos Manuel, 191, 2.º // PORTO // Tel. 2411

Máquinas eléctricas, transformadores, mutadores, aparelhos para alta e baixa tensão. Montagem completa de centrais termo e hidro-eléctricas. Electrificação de fábricas e de caminho de ferro. Locomotivas, e auto-motoras eléctricas e Diessel-eléctricas. Máquinas de extracção. Turbinas a vapor. Geradores de vapor Velox. Máquinas frigoríficas. Grupos e transformadores para a soldadura pelo arco. Fornos eléctricos. Comandos eléctricos especiais para tôdas as máquinas utilizadas nas Fábricas de Fiação, Tecelagem, Acabamentos, Estamparia, Cimento, Moagem, etc.



Barragem do Ermal, da Companhia Electro-Hidráulica de Portugal, com 20 milhões de metros cúbicos de capacidade da albufeira. Na parte central, duas comportas automáticas, da casa construtora «Ateliers des Charmilles», de 9 × 5 metros, para a evacuação das cheias. Em baixo, a central automática de Guilhofrei (I) com uma turbina vertical tipo Kaplan (Ateliers des Charmilles) de 2750 cavalos e o canal de condução da água à central do Ermal (central II) com uma turbina vertical tipo Francis de 6250 cavalos (Ateliers des Charmilles) e duas horizontais (Escher-Wyss) de 500 e 1500 cavalos. Tôda a parte eléctrica (alternadores, transformadores, aparelhos de 2000 e 30000 Volts) da casa BROWN, BOVERI & Cie.